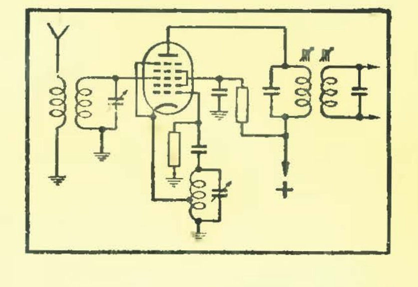
200

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Е. А. ЛЕВИТИН

СУПЕРГЕТЕРОДИН





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1954

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 200

Е. А. ЛЕВИТИН

СУПЕРГЕТЕРОДИН



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

В книге излагаются основные сведения о физических процессах, происходящих в супергетеродинном приемнике, и описываются типовые схемы отдельных каскадов такого приемника.

Книга рассчитана на радиолюбителей, знакомых с принципами работы простейших приемников и имеющих некоторый опыт самостоятельной конструкторской работы в этой области.

Редактор *И. И. Спижевский* Техн. редактор *А. М. Фридкин*

Сдано в набор 19/I 1954 г. Подписано к печати 8/IV 1954 г.
Бумага 84×108[1]/32 5,74 п. л. Уч.-изд. л. 6,5
Т-00295 Тираж 50 000 экз. 43 800 знаков в печ. л. Цена 2 р. 60 к. Зак. 1041

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

В 1895 году А. С. Попов создал свой первый в мире радиоприемник. Но потребовалось после этого еще много лет упорной работы, чтобы радио стало достоянием широких масс.

В дореволюционной России не было своей радиопромышленности. Лишь после Великой Октябрьской социалистической революции по прямому указанию В. И. Ленина начала развиваться отечественная радиопромышленность, которая превратилась в мощную отрасль индустрии за годы пятилеток. Работы советских ученых и исследователей в самых различных областях радиотехники позволили решить сложнейшие задачи, стоявшие перед ней, и, в частности, — в области радиоприема. Это создало условия для бурного развития радио, и в наши дни количество радиоприемников, ставших самым массовым видом современной радиоаппаратуры, исчисляется многими миллионами.

Благодаря заботам Партии и Правительства радиофикация в нашей стране достигла широчайших масштабов, радиовещание охватило всю необъятную территорию Советского Союза. Далеко в прошлое ушли те времена, когда новости и сообщения из столицы доходили до отдаленных мест России лишь через несколько недель, а то и месяцев. Радио победило расстояние, и маленький радиоприемник дает возможность советскому человеку всегда быть связанным невидимыми нитями с главнейшими городскими центрами своей страны, быть в курсе всех событий, волнующих наш народ. Радио несет культуру в самые отдаленные уголки страны.

Особенно возрастает роль радио в свете задач, выдвинутых историческим XIX съездом партии, в решениях которого предусмотрены крупнейшие мероприятия в области дальнейшего роста культурного уровня граждан нашей

страны. В числе этих мероприятий мы видим и дальнейший рост радиофикации, повышение мощности радиовещательных станций, увеличение выпуска радиоприемников для населения.

Немалую роль в радиофикации страны играют советские радиолюбители, руками которых создано большое число радиоприемников, начиная с простейших детекторных и кончая сложными многоламповыми образцами, включающими в себя новейшие достижения радиотехники. Радиолюбители, занимающиеся конструированием радиоприемников, как правило, не останавливаются на первых достигнутых ими успехах в этой области радиотехники, беспрерывно стремятся улучшить созданные конструкции, сделать их более совершенными.

Современный ламповый приемник является сложным устройством. Поэтому, приступая к изучению и разработке конструкции такого аппарата, радиолюбитель должен быть хорошо знаком с принципами его работы, иметь четкое представление о роли и назначении всех основных элементов его схемы.

Настоящая книга имеет своей целью помочь радиолюбителю, знакомому с элементарными основами радиотехники и обладающему уже некоторым практическим опытом в области конструирования радиоприемников прямого усиления, ознакомиться с принципами работы более сложных — супергетеродинных приемников, которые в наши дни получили наибольшее распространение.

Излагаемый материал относится к радиовещательным супергетеродинным приемникам. Радиовещательные приемники должны обеспечивать не только вполне разборчивый прием речи, но и художественное воспроизведение пения и музыки. Технической задачей такого радиоприемника является обеспечение надежного приема радиовещательных станций и воспроизведения принимаемых звуковых передач с минимальными искажениями.

Качество работы радиовещательного приемника определяется качеством работы всех его элементов, включая усилители высокой и низкой частоты, громкоговоритель, ящик и т. д. Для хорошей работы низкочастотной части схемы, которая в наибольшей мере влияет на качество звучания воспроизводимой передачи, необходимо, чтобы детекторный каскад приемника давал неискаженное напряжение звуковой частоты. Колебания же, подлежащие детектированию, подводятся к детектору из высокочастотной части приемника, основное назначение которой сводится к выделению из большого числа сигналов, появляющихся в приемной антенне под воздействием радиоволн многих радиостанций, лишь нужных нам сигналов и к усилению их до уровня, необходимого для нормальной работы детектора.

В данной книге рассматриваются основные физические процессы, происходящие только в высокочастотной части радиовещательных супергетеродинных приемников, являющейся наиболее характерной для них.

Низкочастотная часть супергетеродинного приемника, включающая в себя предварительные и оконечный каскады усиления низкой частоты, а также силовая его часть (выпрямитель) работают точно так же, как аналогичные части приемника прямого усиления. Поэтому физические процессы, происходящие в упомянутых выше частях супергетеродинного приемника, как не являющиеся характерными для такого приемника, не рассматриваются в настоящей книге.

Прежде всего остановимся коротко на основных требованиях, предъявляемых к радиовещательным приемникам, и на значении и роли главнейших параметров или характеристик, какую они играют в работе приемника.

Основным назначением радиоприемника является воспроизведение звуков, которые были первоначально созданы перед микрофоном на передающей радиовещательной станции. Непосредственно задачу воспроизведения таких звуков выполняет громкоговоритель, приемник же обеспечивает электрическую мощность, которая необходима для работы громкоговорителя. В создании упомянутой мощности принимают участие все элементы приемника, хотя каждый из них играет неодинаковую роль в выполнении этой задачи.

Нас будут интересовать зависимости основных характеристик приемника от работы элементов его высокочастотной части, начинающейся от антенного входа и кончающейся детекторным каскадом включительно. Для этой части приемника решающее значение имеют, в первую очередь, такие показатели, как чувствительность и избирательность, причем избирательность приходится рассматривать в тесной связи с частотной характеристикой.

Чувствительность. От чувствительности приемника зависит его способность принимать слабые сигналы, т. е. передачи дальных станций. Чувствительность определяется общим усилением, даваемым всеми каскадами приемника,— от его входа до выхода. Однако распределение всего усиления между отдельными элементами приемного тракта не

может быть любым. Так, например, чрезмерно большое усиление по низкой частоте может привести к возникновению сильных шумов на выходе приемника; недостаточное усиление принятых колебаний до детектирования приводит к излишним искажениям в процессе детектирования слабых сигналов; чрезмерно большое усиление по высокой частоте может привести к неустойчивой работе приемника, к его самовозбуждению и т. д. Поэтому вопрос об удельном весе отдельных частей приемника в общем усилении играет весьма существенную роль.

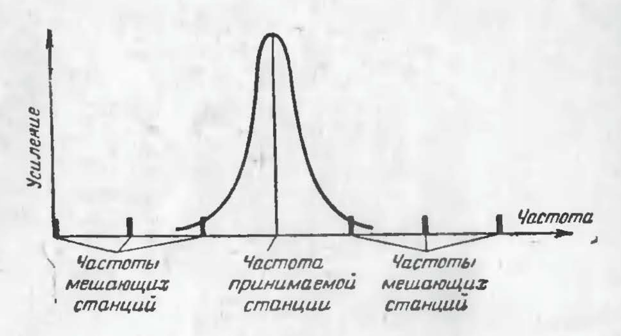
Избирательность. Избирательность — это способность радиоприемника выделять из всех электромагнитных колебаний различных частот, которые воздействуют на приемную антенну, только колебания той частоты, на которую он настроен. Осуществляется избирательность за счет использования явления резонанса в колебательных контурах приемника.

Напомним, что частотный состав принимаемого радиотелефонного сигнала довольно сложен: в него входит несущая частота передающей станции и боковые частоты, образующиеся при модуляции несущей частоты звуковыми частотами. Каждой звуковой частоте соответствует боковая частота, отличающаяся от несущей тем больше, чем выше тон, создаваемый этой звуковой частотой. При передаче речи или музыки на колебания несущей частоты одновременно воздействуют самые различные по частоте звуковые колебания, и соответственно образуется целый ряд боковых частот, называемый полосой боковых частот. Для неискаженной передачи необходимо принять и равномерно усилить всю эту полосу боковых частот.

Если несущую частоту обозначить через f, а частоту модуляции через F, то боковые частоты будут иметь значения $f+F$ и $f-F$. При радиовещании передается целый спектр звуковых частот, начиная от самых низких — порядка 50 *гц* — и кончая наиболее высокими — порядка 10 *кгц*. Возникающие при этом боковые частоты образуют по обе стороны от несущей полосу в ± 10 *кгц*, т. е. шириной 20 *кгц*. Все эти боковые частоты должны быть излучены передатчиком и одинаково хорошо приняты приемником. После детектирования все боковые частоты снова преобразуются в соответствующие звуковые частоты.

Избирательность будет тем выше, чем острее кривая резонанса каждого из колебательных контуров приемника.

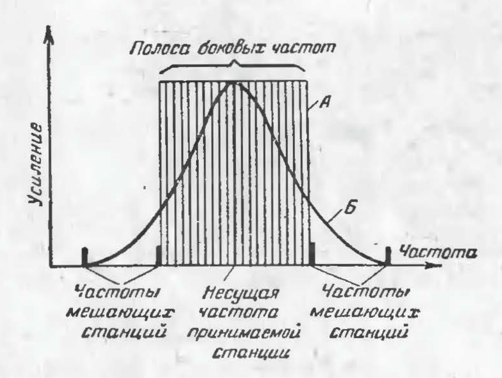
Следовательно, чтобы приемник обладал очень высокой избирательностью (очень острой настройкой), его колебательные контуры должны обладать очень острой (узкой) резонансной характеристикой (фиг. 1). При этих условиях сигналы всех других радиостанций, несущие частоты которых заметно отличаются от частоты принимаемой радиостанции, будут по сравнению с ее сигналами настолько сильно ослабляться, что практически передачи этих станций не будут приниматься. Но, с другой стороны, ширина резонансной характеристики должна быть достаточной для того,



Фиг. 1. Резонансная характеристика радиоприемника.

чтобы вместе с несущей контуры приемника пропускали без ослабления и все боковые частоты, образовавшиеся в процессе модуляции. В противном случае принимаемая радиопередача будет воспроизводиться с искажениями. Чем более естественного звучания принимаемой передачи мы хотим добиться, тем шире должна быть полоса боковых частот, так как она должна охватывать все частоты звукового спектра. Идеальная резонансная характеристика радиовещательного приемника должна была бы иметь прямоугольную форму (фиг. 2, кривая *А*). При этих условиях приемник пропускал бы без ослабления всю нужную полосу боковых частот и в то же время совершенно не принимал радиосигналов других станций, несущие частоты которых лежат за пределами этой кривой. Однако практически невозможно создать приемник, резонансная характеристика у которого имела бы прямоугольную форму. Реальная резонансная характеристика приемника имеет вид, изображенный на фиг. 2, кривая *Б*. Нетрудно заметить недостатки такой характеристики: чтобы приемник мог пропустить без существенного ослабления достаточно широкую полосу частот, нужно значительно рас-

ширить верхнюю часть такой характеристики; но это неизбежно повлечет за собой значительное расширение и нижней области характеристики. А это, в свою очередь, приведет к увеличению влияния помех, создаваемых другими станциями, т. е. к понижению избирательности приемника. Таким образом, по виду резонансная характеристика хорошего современного приемника должна возможно больше приближаться к идеальной (прямоугольной по форме). При этих условиях обеспечиваются достаточно широкая по-



Фиг. 2. Идеальная прямоугольная резонансная характеристика (*А*) и обычная резонансная характеристика (*Б*).

лоса пропускания частот и одновременно хорошая избирательность, т. е. большое ослабление сигналов всех мешающих станций.

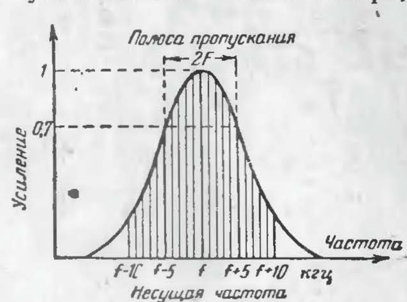
Задача получения нужной формы резонансной кривой решается разными путями в приемниках различных систем. Как будет видно из дальнейшего, приемники супергетеродинного типа дают в этом отношении большие возможности.

Частотная характеристика. Частотная характеристика всего приемника, т. е. от его антенного входа и до выхода на громкоговоритель, показывает, насколько равномерно усиливаются в приемнике разные частоты звукового спектра. Поэтому по форме частотной характеристики можно судить, насколько хорошо (или плохо, т. е. с искажениями) радиоприемник способен воспроизводить звуки. Сильное влияние на качество звучания воспроизводимой передачи оказывают низкочастотная часть приемника, в которой происходит усиление колебаний низкой частоты, полученных после детектирования, а также громкоговоритель. Вместе с тем

качество звучания принимаемой радиопередачи в значительной мере зависит и от работы высокочастотной части приемника и, в первую очередь, от того, насколько равномерно усиливаются ею колебания всей полосы пропускаемых частот до детектирования.

Из рассмотрения резонансной характеристики известно, что при настройке приемника в резонанс на принимаемую станцию не все излучаемые частоты усиливаются приемником одинаково; наибольшее усиление будет получаться точно на резонансной частоте, т. е. на несущей частоте станции. По мере же удаления в обе стороны от этой частоты усиление постепенно уменьшается. Иначе говоря, разные боковые частоты усиливаются различно, а вследствие этого различно усиливаются и разные звуковые частоты.

Неравномерное усиление приемником различных частот вызывает искажения звучания принимаемой радиопередачи. Чтобы эти искажения снизить до минимума, стремятся резонансной кривой приемника придать такую форму, чтобы нужная полоса частот принимаемой радиостанции укладывалась в пределах верхней части этой характеристики, находящейся на высоте 0,7 от ее максимальной высоты (на фиг 3 обозначено пунктиром). Ширина этой части резонансной характеристики условно и называется полосой пропускания приемника. Усиление самых крайних боковых частот этой полосы уменьшается по сравнению с усилением несущей (резонансной) частоты лишь в 1,4 раза $(1 : 0{,}7 = 1{,}4)$.



Фиг. 3. Полоса пропускания.

Этим мы условно допускаем, что достаточно хорошо проходят через резонансные контуры все частоты, которые ослабляются не более, чем в 1,4 раза по сравнению с резонансной частотой.

При этом и высшие звуковые частоты, соответствующие крайним боковым частотам этой полосы, будут ослабляться также в 1,4 раза по сравнению с низшими, получаемыми из боковых частот, отстоящих недалеко от несущей частоты. Если резонансная характеристика приемника (контура) будет очень узка, то он будет пропускать с ослаблением

в 1,4 раза лишь боковые частоты, отстоящие совсем недалеко от несущей. Следовательно, частотная характеристика приемника будет сильно ограничена со стороны высоких частот. Это приведет к заметному снижению качества звучания, к искажению тембра передачи, так как тембр или окраска звука определяется высшими звуковыми частотами.

Таким образом, высокочастотная часть приемника оказывает существенное влияние на его характеристики по низкой частоте, и это следует учитывать при оценке работы различных приемных схем.

Мы остановимся пока на этих трех показателях приемника, как наиболее характерных и важных его параметрах, и перейдем сейчас к краткому разбору структуры радиоприемной схемы с учетом сделанных замечаний в отношении чувствительности и избирательности.

Как уже говорилось, к основным процессам, происходящим в радиоприемнике, относятся усиление принятых сигналов высокой частоты, выделение из них колебаний низкой (звуковой) частоты и усиление мощности последних до уровня, необходимого для нормальной работы громкоговорителя. В зависимости от классов и назначения приемников в одних из них применяют более развитую высокочастотную, в других — низкочастотную части, а в третьих — стараются максимально развить обе эти части.

В настоящее время для приема радиовещания применяются приемники прямого усиления и супергетеродинные.

Сущность метода прямого усиления заключается в том, что сигнал, поступивший из антенны в приемник, усиливается той его частью, которая называется усилителем высокой частоты; затем эти усиленные колебания детектируются в детекторном элементе схемы, и выделенные при этом колебания низкой (звуковой) частоты подвергаются усилению в низкочастотной части приемника (фиг. 4). В схемах малоламповых приемников прямого усиления, как известно, применяется еще обратная связь. Использованием обратной связи достигается уменьшение потерь в колебательных контурах, в результате чего повышаются чувствительность и избирательность приемника.

Характерной особенностью метода прямого усиления является то, что усиление поступивших колебаний вплоть до детектирования их происходит на одной частоте — на частоте сигнала. На эту частоту настраиваются все колебательные контуры приемника.

Чувствительность приемника определяется имеющимся у него числом каскадов усиления, качеством усилительных ламп и его резонансных контуров. Избирательность же определяется только количеством и качеством резонансных контуров.

Добиться большого усиления с помощью рассматриваемого метода (прямого усиления) чрезвычайно трудно, так как значительное число элементов схемы, используемых для усиления колебаний одной и той же частоты, создает опасность возникновения паразитных обратных связей и самовозбуждения приемника.

Следующее затруднение заключается в том, что каждый раз при переходе на прием другой станции приходится одновременно перестраивать все контуры, применяемые в усилителе высокой частоты, — настраивать их на частоту этой станции. Технически осуществить одновременную настройку на одну частоту более трех-четырех колебательных контуров довольно трудно. Поэтому настройка и регулировка многоконтурных приемников прямого усиления представляют довольно сложную задачу. Форма резонансной характеристики приемника оказывается при этом также недостаточно выгодной, увеличение числа настроенных контуров приводит к сужению верхней части характеристики; нижняя же ее часть остается все же слишком широкой, поэтому боковые спады кривой идут недостаточно круто, что невыгодно с точки зрения избирательности.

Колебания низкой частоты
Усилитель низкой частоты
Детектор
Модулированные колебания высокой частоты
Усилитель высокой частоты

Фиг. 4. Схема действия приемника прямого усиления.

Кроме того, ширина полосы пропускания по высокой частоте оказывается резко неодинаковой по диапазону: на высокочастотном конце диапазона полоса пропускания оказывается значительно шире, чем на его низкочастотном конце.

Применение обратной связи позволяет одновременно со значительным повышением усиления резко сузить резонансную характеристику. Однако при этом получается, главным образом, сужение верхней части характеристики, что приводит к чрезмерному уменьшению полосы пропускания в тех случаях, когда усиление достигает возможного максимума. При налаживании приемника прямого усиления с обратной связью затруднения вызывает получение устойчивой регенерации, усложняется настройка приемника по диапазону, приходится применять дополнительные органы управления и пр.

При приеме более высоких радиочастот (например, на коротких волнах) достигнуть с помощью схем прямого усиления одновременно высокой чувствительности и избирательности и обеспечения высокого качества воспроизведения практически невозможно.

Метод прямого усиления исторически был первым способом осуществления достаточно чувствительных радиоприемников.

Значительно позднее появился второй метод приема — супергетеродинный.

Отличительная особенность супергетеродинного метода приема заключается в том, что поступившие в приемник колебания лишь в незначительной степени усиливаются на собственной частоте. Основное же их усиление производится на так называемой промежуточной частоте. Колебания промежуточной частоты искусственно создаются из принятых высокочастотных колебаний в преобразовательном каскаде приемника в результате взаимодействия их в так называемом смесителе с колебаниями, создаваемыми местным вспомогательным гетеродином. Этот процесс приводит к тому, что сигналы любой частоты преобразуются всегда в колебания одной и той же (заранее выбранной) частоты, называемой, как указано выше, промежуточной (фиг. 5).

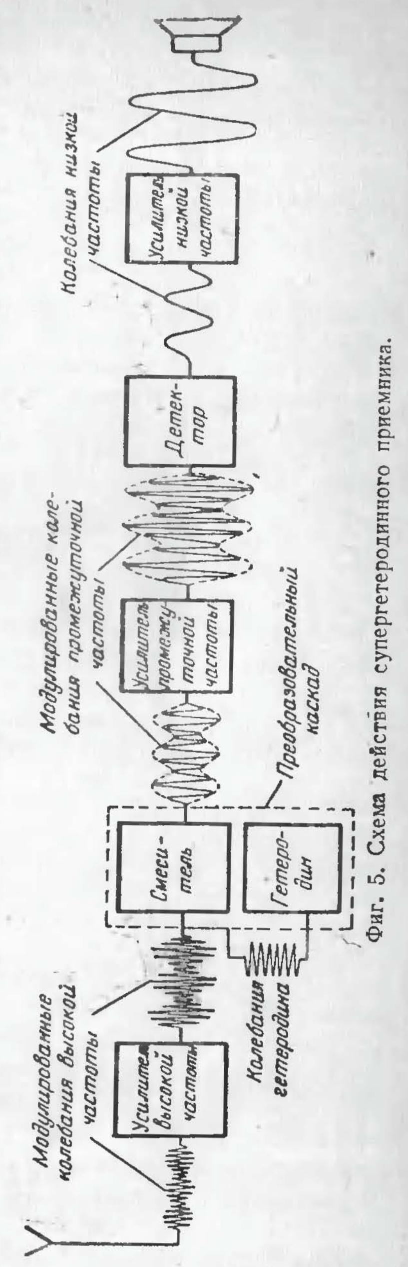
Чрезвычайно существенным является то обстоятельство, что в процессе преобразования модуляция звуковой частоты преобразуемых колебаний (сигнала) переходит на колебания промежуточной частоты без каких бы то ни было изменений.

Подробно супергетеродинный метод приема рассматривается ниже, в гл. 1 Здесь же мы отметим только, что в результате преобразования принятых колебаний получаются колебания новой, промежуточной частоты, модулированные звуковой частотой точно так же, как и несущая частота

сигнала. Поэтому дальнейшее усиление в приемнике можно вести уже на этой промежуточной частоте.

Преимуществом супергетеродинного метода является то, что усиление высокочастотных колебаний происходит не на одной частоте, как при прямом усилении, а на двух разных частотах — сначала на частоте сигнала, а затем на более низкой промежуточной частоте. Это позволяет повысить пределы устойчивого усиления до детектора, т. е. получить значительно большее общее усиление, не опасаясь возникновения самовозбуждения приемника.

Вторая особенность супергетеродинного метода приема заключается в том, что при перестройке приемника на любую станцию (на любую частоту) промежуточная частота приемника остается неизменной. Поэтому усилитель промежуточной частоты приемника остается раз и навсегда настроенным на одну и ту же частоту независимо от частоты принимаемой станции. Эта особенность супергетеродинного приемника является существенным преимуществом по сравнению с приемником прямого усиления, так как позволяет применять в усилителе промежуточной частоты большое число колебательных контуров, точно на-



Фиг. 5. Схема действия супергетеродинного приемника.

страиваемых только один раз, при сборке и регулировке приемника. В процессе же работы приемника при настройке на различные станции эти контуры, как уже говорилось, не перестраиваются. В приемнике же прямого усиления все резонансные контуры необходимо настраивать каждый раз на частоту сигнала, причем несовпадение их настроек ведет к искажению формы резонансной характеристики всего приемника, к уменьшению усиления и ухудшению избирательности. Практически же одновременное осуществление плавной и точной перестройки нескольких контуров на одну и ту же частоту сопряжено, как уже отмечалось, с большими техническими трудностями.

Достоинством супергетеродина является также и то, что за счет использования в усилителе промежуточной частоты большого числа настроенных на одну частоту контуров возможно получение высокой избирательности приемника. Даже в простом супергетеродинном приемнике обычно используются четыре колебательных контура, а в более сложных — шесть и более контуров, настроенных на промежуточную частоту. В радиовещательном приемнике прямого усиления осуществить систему из такого большого числа плавно перестраиваемых контуров хотя принципиально и возможно, но практически чрезвычайно трудно.

Так как настройка контуров усилителя промежуточной частоты остается неизменной, это позволяет настроить их так, чтобы получить не простую резонансную систему, а так называемый полосовой фильтр (подробнее см. гл. 1 и 3), форма резонансной характеристики которого приближается к прямоугольной. В полосовом фильтре требуется поддерживать некоторую определенную связь между входящими в его состав контурами. Осуществление такой системы из контуров, которые нужно каждый раз плавно перестраивать в широком диапазоне частот, как это делается в приемнике прямого усиления, представляет практически весьма сложную задачу.

Особенно резко выявляются преимущества супергетеродинного приемника при приеме колебаний более высокой частоты, т. е. при приеме коротковолновых станций.

Наконец, супергетеродинная схема позволяет упростить управление приемником и осуществить ряд ручных и автоматических регулировок (например, переменную полосу пропускания, автоматическую регулировку и поддержание постоянства усиления и т. д.).

Все эти преимущества привели к тому, что в настоящее время основным типом радиовещательного приемника длинных, средних и коротких волн служит супергетеродин. Он почти полностью вытеснил собой приемник прямого усиления. Только наиболее простые современные малоламповые приемники, рассчитанные в основном на прием местных и не очень удаленных мощных иногородних станций, делаются по схеме прямого усиления.

Конечно, супергетеродинной схеме свойственны и некоторые недостатки, специфичные для этого метода приема (например, возникновение помех на частоте зеркального канала, повышенные шумы и т. д.). Эти вопросы будут рассмотрены в соответствующих главах книги.

Классификация радиовещательных приемников. Радиовещательные приемники классифицируются по своим качественным показателям. В соответствии с ГОСТ 5651-51 радиоприемники подразделяются на четыре класса: приемники с наивысшими показателями относятся к первому классу, а наиболее простые — к четвертому классу.

При рассмотрении работы отдельных каскадов супергетеродинного приемника будет отмечено влияние, которое оказывает каждый каскад на те или иные качественные показатели приемника.

Глава первая

СОСТАВ СХЕМЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

Блок-схема, приведенная на фиг. 5, содержит лишь основные элементы супергетеродинного приемника. Реальная схема усложняется введением в нее ряда дополнительных элементов, играющих вспомогательную роль. Мы их пока не будем касаться, чтобы не усложнять рассмотрение основных процессов, характерных для супергетеродинного метода приема. По той же причине не будем затрагивать работу усилителя высокой частоты.

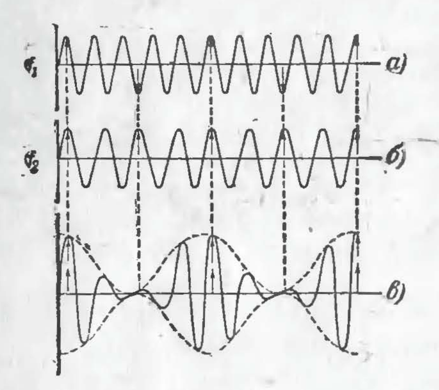
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

Как уже упоминалось, основной особенностью супергетеродинного метода является преобразование частоты, т. е. принимаемые колебания преобразуются в приемнике в колебания другой, обычно более низкой частоты, после чего ведется дальнейшее их усиление.

Остановимся подробнее на этом процессе.

Преобразование частоты основано на использовании биений, возникающих между двумя колебаниями, отличающимися несколько по частоте друг от друга.

На фиг. 6 процесс возникновения биений иллюстрируется графически. Если мы имеем два незатухающих колебания — одно с частотой f_1 (фиг. 6,*а*), и второе — с частотой f_2, немного отличающейся от f_1 (фиг. 6,*б*), то при сложении таких колебаний будет происходить следующее: в некоторые моменты времени амплитуды обоих колебаний будут совпадать по знаку, и поэтому напряжения обоих колебаний будут складываться. В другие же моменты амплитуды колебаний будут оказываться противоположными по знаку и, следовательно, результирующее напряжение будет представлять разность напряжений слагаемых колебаний. В течение же времени, отделяющего оба упомянутых момента, результирующее напряжение будет достигать различных промежуточных (между максимальным и минимальным) значений. Построив график, изображающий суммарное колебание, мы получим кривую, изображенную на фиг. 6,*в*. Эта кривая показывает, что амплитуда результирующего напряжения изменяется периодически и вначале оба слагаемых напряжения суммируются, потом происходит постепенный переход к вычитанию одного из другого, после чего — вновь переход к суммированию и т. д. Процесс этот повторяется периодически. Амплитуда результирующего напряжения оказывается уже не постоянной величиной, а изменяется также периодически: возрастает, затем убывает, снова возрастает и т. д. Результирующее колебание напоминает по виду модулированное. В колебаниях появляются как бы перебои, откуда и произошло название «биений». Частота, с которой происходит нарастание и ослабление колебаний, называется частотой биений и равняется разности частот складываемых колебаний, т. е. $f_{биен} = f_1 - f_2$.

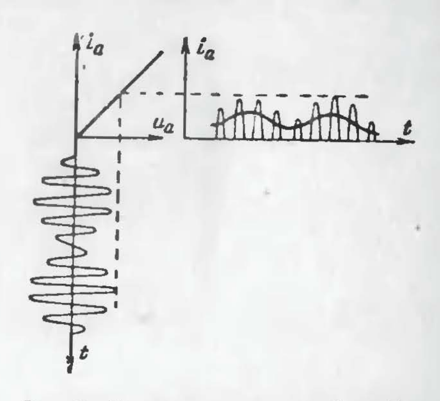


Фиг. 6. Получение биений между двумя колебаниями с разными частотами.

В случае сложения низких (звуковых) частот биения легко можно обнаружить на слух. Достаточно заставить звучать одновременно две струны, создающие звуки, слегка отличающиеся по частоте, или два камертона, немного расстроенных друг относительно друга, и мы услышим новый тон, который будет периодически то затихать, то усиливаться. Частота, с которой происходит колебание громкости звука, и будет в данном случае частотой биений.

В случае сложения двух колебаний высокой частоты, например $f_1 = 1\,000$ *кгц* и $f_2 = 1\,100$ *кгц*, мы получим новое колебание, амплитуда которого будет периодически меняться с частотой $f_2 - f_1 = 100$ *кгц*.

Подав это новое колебание на детектор или, в более общем виде, на какой-либо элемент с нелинейной характеристикой, мы можем из суммарного колебания выделить частоту биений, т. е. в нашем случае 100 *кгц* (фиг. 7), подобно тому как при детектировании выделяется модулирующая частота. (Нелинейность характеристики элементов схемы, применяемых для этой цели, выражается в том, что сила тока, проходящего через них, изменяется не пропорционально приложенному напряжению, а зависит от него более сложным образом.)



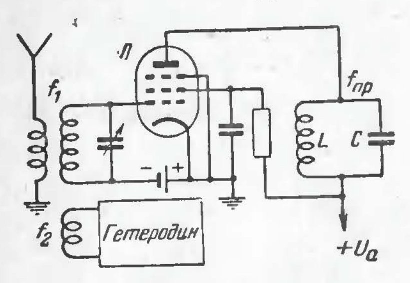
Фиг. 7. Выделение частоты биений с помощью детектора.

Если рассматривать это процесс применительно к приемнику, то можно считать, что f_1 — это частота принимаемых колебаний. Вспомогательные колебания с частотой f_2 создаются в самом приемнике внутренним источником — гетеродином. Частоту $f_{пп} = f_2 - f_1$ колебаний, создаваемых в процессе преобразования, называют, как уже указывалось, промежуточной. Ту ступень приемника, в которой происходит преобразование принятых сигналов в колебания промежуточной частоты, называют преобразовательным каскадом. Раньше лампу, в которой происходило преобразование частоты, называли первым детектором, поскольку, как уже отмечалось, колебания с частотой биений выделяются в процессе детектирования сложного колебания, полученного в результате взаи-

модействия двух колебаний разных частот; выделение частоты биений из сложного колебания аналогично выделению частоты модуляции из модулированного сигнала высокой частоты.

Простейшая схема первого детектора приведена на фиг. 8. Лампа *Л* работает в режиме анодного детектора. На ее сетку поступает сигнал с частотой f_1 и колебания вспомогательного гетеродина с частотой f_2.

Математический анализ показывает, что в состав колебаний сложной формы, получающихся в результате такого взаимодействия двух разных частот и последующего детектирования, входят колебания с частотой f_1, f_2, $f_2 - f_1$ и ряд других. Чтобы выделить из них нужные нам колебания с частотой $f_{np} = f_2 - f_1$, в анодную цепь лампы включен колебательный контур *LC*, настроенный на частоту f_{np}. Колебания этой частоты создадут на таком контуре значительное напряжение, а для всех других частот его резонансное сопротивление будет очень мало, следовательно, и напряжение этих частот на контуре будет ничтожным.



Фиг. 8. Простейшая схема преобразования частоты.

Выделенное на контуре *LC* напряжение промежуточной частоты подвергается дальнейшему усилению в усилителе промежуточной частоты.

В настоящее время для преобразования частоты применяются новые сложные лампы, в которых этот процесс происходит несколько иным образом, на основе воздействия двух колебаний на общий электронный поток в лампе. Поэтому в современных супергетеродинных схемах этот каскад называется преобразователем частоты, а не «первым детектором». Схемы современных преобразователей частоты рассматриваются в гл. 2.

УСИЛИТЕЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Мы рассмотрели самый принцип создания и выделения промежуточной частоты. При этом наиболее существенным является то, что, как показывает теоретический анализ, амплитуда напряжения этой промежуточной частоты оказывается пропорциональной амплитуде напряжения сигнала. Следовательно, если принимаемый сигнал сам по себе пред-

ставляет модулированное напряжение, то и выделенные в преобразователе колебания промежуточной частоты будут, в свою очередь, модулированы точно таким же образом.

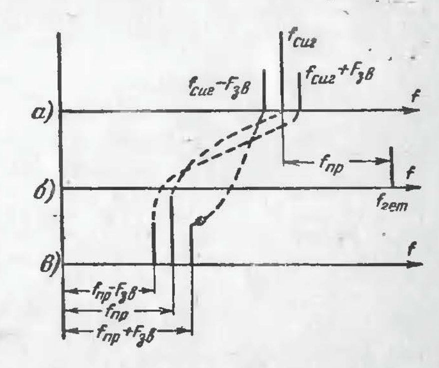
Процесс переноса модуляции с несущей частоты сигнала на промежуточную частоту можно объяснить следующим образом.

Пусть $f_{сиг}$ — частота сигнала (фиг. 9,*а*), а $f_{сиг} + F_{зв}$ и $f_{сиг} - F_{зв}$ — боковые частоты, образовавшиеся при модуляции сигнала звуковой частотой $F_{зв}$, и $f_{гет}$ — частота местного гетеродина (фиг. 9,*б*). При сложении напряжений сигнала и гетеродина будут получаться биения: 1) между $f_{гет}$ и $f_{сиг}$; 2) между $f_{гет}$ и $(f_{сиг} + F_{зв})$ и 3) между $f_{гет}$ и $(f_{сиг} - F_{зв})$. Это приведет к появлению после преобразования следующих частот (фиг. 9,*в*):

$$f_{гет} - f_{сиг} = f_{np},$$
$$f_{гет} - (f_{сиг} + F_{зв}) = f_{np} - F_{зв},$$
$$f_{гет} - (f_{сиг} - F_{зв}) = f_{np} + F_{зв}.$$

Таким образом, выделенная в процессе преобразования промежуточная частота будет сопровождаться двумя боковыми частотами, точно такими же, какие имелись в принятом сигнале. Иначе говоря, модуляция оказалась перенесенной с несущей частоты сигнала на промежуточную частоту.

Мы рассмотрели для простоты случай модуляции сигнала одной частотой $F_{зв}$. Очевидно, при передаче звуков это распространится на всю полосу модулирующих звуковых частот.



Фиг. 9. Перенос модуляции с частоты сигнала на промежуточную частоту.

Следовательно, выделив промежуточную частоту, мы можем вести дальнейшее усиление принимаемых колебаний уже на этой частоте, не опасаясь внести искажения в модулирующее напряжение. Усилив напряжение промежуточной частоты до нужного предела, подвергают его вторичному

детектированию и на этот раз уже выделяют напряжение звуковой частоты, которое после надлежащего усиления используется для приведения в действие громкоговорителя.

Это дает нам возможность перенести наибольшую часть общего усиления до детектора на промежуточную частоту. Остановимся несколько подробнее на рассмотрении преимуществ, вытекающих из такого метода приема.

Усиление. Величина усиления лампового каскада на пентодах, применяемых почти исключительно в настоящее время в усилителях высокой и промежуточной частоты и обладающих высоким внутренним сопротивлением, может быть приближенно с достаточной степенью точности выражена как $K = SZ_{рез}$, где K — усиление каскада; S — крутизна характеристики лампы, *ма/в*; $Z_{рез}$ — резонансное сопротивление контура, *ком*.

Если тип лампы и режим ее работы выбраны, то величина усиления определяется только значением резонансного сопротивления контура. Но $Z_{рез}$ контура, рассчитанного под промежуточную частоту, будет значительно больше, чем такого же контура, предназначенного для колебаний высокой частоты сигнала, если значение промежуточной частоты выбрано ниже частоты сигнала. В этом можно убедиться из следующей формулы:

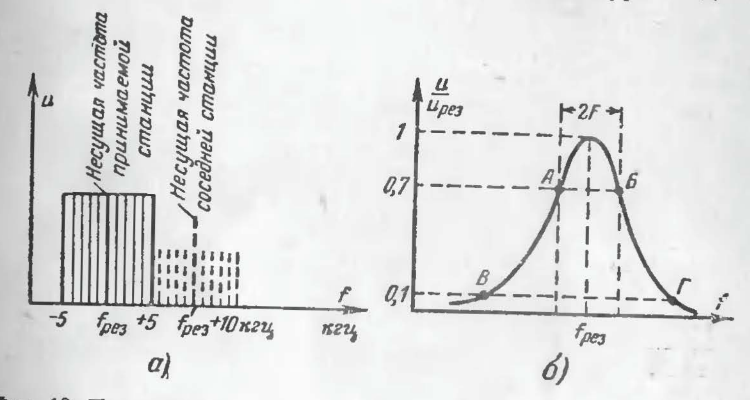
$$Z_{рез} = \frac{1}{\omega C} Q.$$

Значение Q (добротность) на промежуточной частоте может быть получено достаточно высокое — примерно такого же порядка, как и на частоте сигнала. Емкость C может быть выбрана небольшой, порядка 150—200 *пф*, т. е. даже меньшая, чем в высокочастотном контуре. Остается в знаменателе величина $\omega = 2\pi f$. С понижением промежуточной частоты будет уменьшаться и ω, следовательно, величина $Z_{рез}$ будет возрастать.

Из этого следует, что усиление каскада K на промежуточной частоте может быть больше, чем на высокой частоте.

Нужно учитывать также и то весьма существенное обстоятельство, что если бы даже и удалось получить на высокой частоте такое же большое усиление, как на промежуточной частоте, то не всегда оказывается возможным полностью использовать его, так как пределы устойчивого усиления каскада ограничены возможностью возникновения самовозбуждения вследствие наличия паразитной обратной связи через междуэлектродные емкости лампы. Чем ниже частота колебаний усиливаемого напряжения, тем большее усиление можно получить, не опасаясь возникновения самовозбуждения. Поэтому использование усиления по промежуточной частоте является большим преимуществом, в особенности при приеме коротких волн, для которых допустимая величина устойчивого усиления каскада оказывается в 5—7 раз меньше, чем на промежуточной частоте.

Избирательность. Избирательность современных радиовещательных приемников определяется резонансными свойствами применяемых в них колебательных контуров. Однако



Фиг. 10. Прямоугольная резонансная характеристика (*а*) и резонансная характеристика одного контура (*б*).

возможности получения высокой избирательности в приемниках прямого усиления и в супергетеродинах оказываются различными.

Как известно, под избирательностью принято понимать способность какой-либо резонансной системы выделять колебания определенной частоты и ослаблять по сравнению с ними колебания других близлежащих частот. Поскольку при радиотелефонном приеме (при приеме модулированных колебаний высокой частоты) необходимо принимать несущую частоту сигнала и спектр боковых частот, то для равномерного усиления всех этих частот радиоприемник, как мы уже знаем, должен бы обладать резонансной характеристикой прямоугольной формы (фиг. 10,*а*). При этих условиях приемник выделял бы из всей массы высокочастотных колебаний, воздействующих на его вход, только колебания резонансной частоты $f_{рез}$ и полосу боковых частот, отстоящих на $\pm F$ *кгц* от резонансной частоты; здесь F — высшая часто-

та модуляции, например 5 *кгц*. Все же колебания, отличающиеся по частоте от $f_{рез}$ более чем на ±5 *кгц*, контуры упомянутого приемника совершенно не пропускали бы, и поэтому в отношении таких колебаний он обладал бы очень высокой избирательностью. Для каждой радиовещательной станции в соответствии с этим должен быть отведен участок частот шириной 10 *кгц* и соседние станции должны отстоять по частоте друг от друга на 10 *кгц*.

К сожалению, резонансная характеристика реального приемника, как нам уже известно, по форме значительно отличается от прямоугольной.

Резонансная характеристика одного колебательного контура имеет форму, показанную на фиг. 10,*б*. Наиболее характерными показателями для такой кривой являются ширина ее в верхней части и крутизна спада боковых сторон. Чтобы приблизиться к идеальной форме характеристики, нужно, не сужая чрезмерно верхней ее части, добиться более крутых спадов ее боковых участков. О ширине верхней части судят по полосе пропускания, за которую, как уже было сказано ранее, условно принимается ширина резонансной характеристики на высоте, равной 0,7 максимальной.

Полоса пропускания определяется добротностью контура Q. Если обозначить ширину полосы пропускания через $2F$, то

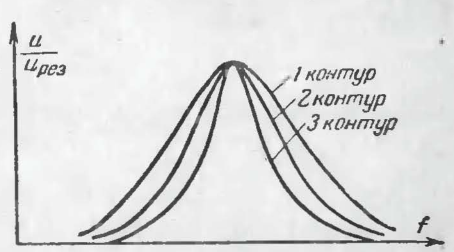
$$2F = \frac{f_{рез}}{Q},$$

т. е. полоса пропускания в Q раз меньше резонансной частоты. Иначе говоря, чем выше добротность Q, тем у́же резонансная характеристика и тем выше избирательность контура.

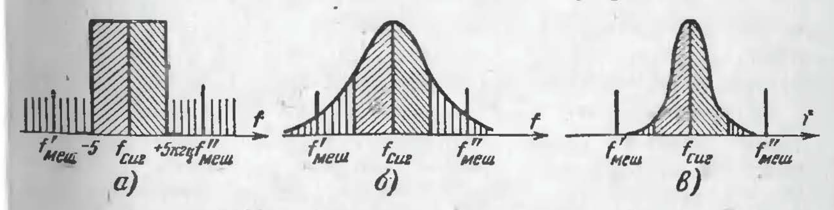
Из указанного выражения можно сделать следующий весьма существенный вывод: *полоса пропускания резонансного контура, имеющего определенную добротность, представляет величину не постоянную, а зависящую от частоты настройки*. Так, например, контур с добротностью $Q = 100$ при настройке на частоту 500 *кгц* будет иметь полосу пропускания 5 *кгц*, а при настройке на 1 500 *кгц* — уже 15 *кгц*. С повышением частоты настройки резонансная характеристика расширяется и избирательность контура ухудшается.

Резонансную характеристику можно сузить и, таким образом, повысить избирательность, применив не один, а два или больше настроенных контуров, через которые последовательно проходит сигнал. На фиг. 11 показано, как изменяется форма резонансной характеристики приемника с увеличением числа настроенных контуров, кривая становится у́же как в верхней, так и в нижней своей части, но форма ее остается попрежнему далекой от прямоугольной.

Следовательно, если повышать избирательность путем увеличения числа резонансных контуров, то это будет сопряжено с ухудшением частотной характеристики или, иначе говоря, с ухудшением качества воспроизведения звука (ослабляются высшие звуковые частоты). Диаграмма фиг. 12 поясняет сказанное. На этой диаграмме заштрихованная (косыми линиями) область изображает полосу частот, излучаемую передатчиком, и соответствует несущей частоте и двум боковым полосам шириной по 5 *кгц* (фиг. 12,*а*). Чтобы передача принималась без искажений, приемник должен бы воспроизводить все эти частоты без ослабления, т. е. все они должны проходить через его резонансные контуры с одинаковым усилением. Но это было бы возможно только при том условии, если бы приемник обладал идеальной резонансной характеристикой прямоугольной формы (фиг. 12,*а*). Реальная же резонансная кривая имеет форму, резко отличающуюся от прямоугольной (фиг. 12,*б*). Это приводит к ослаблению некоторых боковых частот. Кроме того, так как кривая идет книзу очень полого, то нижней своей частью она охватывает очень широкую полосу частот, и поэтому контур будет пропускать мешающие частоты. Чтобы повысить избирательность контура (приемника), нужно сузить нижнюю часть его резонансной характеристики (фиг. 12,*в*). Но одно-



Фиг. 11. Резонансная характеристика при разном числе контуров.



Фиг. 12. Прохождение боковых частот при резонансных характеристиках разной формы.

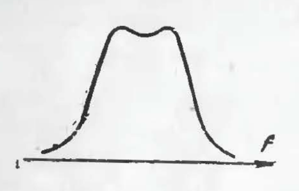
временно с этим неизбежно сузится и верхняя ее часть, т. е. ухудшится частотная характеристика контура (приемника).

О форме резонансной характеристики судят по коэффициенту прямоугольности, понимая под ним отношение ширины резонансной характеристики в ее нижней части на высоте 0,1 максимального значения (линия *ВГ* на фиг. 10,*б*) к ширине той же характеристики на высоте 0,7 максимальной (линия *АБ* на фиг. 10,*б*):

$$K_П = \frac{ВГ}{АБ}.$$

Иначе говоря, коэффициент прямоугольности показывает, во сколько раз резонансная характеристика в своей нижней части шире, чем в верхней.

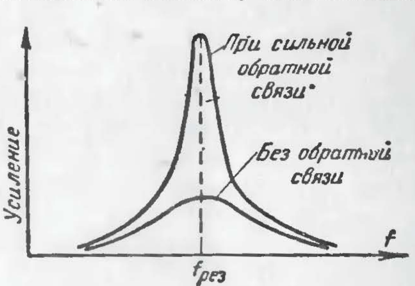
Очевидно, у идеальной (прямоугольной) характеристики этот коэффициент будет равен единице. В реальном резонансном усилителе этот коэффициент будет всегда много больше единицы. Теория доказывает, что при любом, как угодно большом количестве контуров в резонансном усилителе вычисленный для него коэффициент $K_П$ будет больше 2,56. Отсюда следует, что невозможно сделать резонансный усилитель, который отличался бы одновременно и высокой избирательностью, и малыми частотными искажениями, так как с повышением избирательности неизбежно возрастают и частотные искажения. Это противоречие разрешается в современных приемниках путем применения так называемых полосовых фильтров. Последние представляют собой систему из нескольких колебательных контуров, одинаково настроенных и связанных тем или иным способом между собой или же отделенных друг от друга усилительными лампами, но настроенных при этом не очень точно в резонанс. Это позволяет придать резонансной характеристике приемника форму, приближающуюся к прямоугольной (фиг. 13). Теория полосовых фильтров высокой частоты была разработана советским ученым В. И. Сифоровым.



Фиг. 13. Резонансная характеристика полосового фильтра.

Применять полосовые фильтры в приемниках прямого усиления практически невозможно, так как в этих приемниках каждый раз приходится настраивать все контуры на частоту принимаемой радиостанции. При перестройке же контуров на разные частоты оказывается практически невозможным добиться сохранения указанной выше формы у резонансной характеристики. Поэтому в приемниках прямого усиления повышение избирательности неизбежно связано с увеличением частотных искажений. Это особенно заметно у приемников с обратной связью; при сильной обратной связи, вызывающей резкое увеличение усиления, форма резонансной характеристики приобретает вид, показанный на фиг. 14. При такой форме характеристики приемник не будет пропускать верхних звуковых частот и поэтому принимаемая передача будет сильно искажаться.

В супергетеродинном приемнике вопрос об избирательности решается иначе. Входные резонансные контуры приемника и контуры усилителя высокой частоты, если таковой имеется, настраиваемые на частоту сигнала, играют незначительную роль в отношении избирательности; в основном же его избирательность определяется усилителем промежуточной частоты. Это происходит потому, что при настройке на любой принимаемый сигнал одновременно перестраиваются как входные контуры, так и контур гетеродина. Входные контуры выделяют нужный сигнал на входе приемника, а колебания гетеродина создают биения с этим сигналом, в результате чего выделяются колебания промежуточной частоты $f_{пр}$. Гетеродин всегда настраивается так, чтобы его частота отличалась от частоты сигнала на $f_{пр}$, т. е. чтобы $f_{гет} = f_{сиг} + f_{пр}$. Выделенные в результате преобразования колебания промежуточной частоты (одной и той же независимо от частоты сигнала) усиливаются далее в усилителе промежуточной частоты. Чем же определяется при таком методе приема избирательность? Проследим за этим в процессе разбора примера. Допустим, что на вход приемника, обладающего промежуточной частотой $f_{пр} = 100$ *кгц*, воздействуют два сигнала: полезный с частотой 1 000 *кгц* и мешающий с частотой 1 010 *кгц* (соседняя станция по частоте). Помеха отличается по частоте от полез-



Фиг. 14. Изменение формы резонансной характеристики под действием обратной связи.

ного сигнала на $\frac{1010-1000}{1000} \cdot 100\% = 1\%$. Следовательно, в приемнике прямого усиления от резонансных контуров требовалась бы в этом случае способность разделить сигналы, различающиеся всего лишь на 1% по частоте.

В супергетеродине для приема станции с $f_{сиг} = 1000$ *кгц* гетеродин должен быть настроен на частоту $f_{гет} = f_{сиг} + f_{пр}$, т. е. в нашем случае на 1 100 *кгц* (1 000 *кгц* + 100 *кгц*). Если мешающий сигнал пройдет через входные контуры и попадет на сетку первой лампы приемника, то он с колебаниями гетеродина создаст биения, в результате которых выделится промежуточная частота $f_{пр} = f_{гет} - f_{меш} = 1100 - 1010 = 90$ *кгц*. Следовательно, к усилителю промежуточной частоты пройдут колебания помехи с частотой 90 *кгц*. От колебаний, создаваемых сигналом, т. е. от 100 *кгц*, помеха в данном случае отличается по частоте уже на $\frac{100-90}{100} \cdot 100\% = 10\%$. Как видим, разница в процентах (относительная разница) между частотами полезного и мешающего сигнала увеличилась в 10 раз. Совершенно ясно, что благодаря этому повышается возможность отстройки от мешающей станции, т. е. избирательность приемника резко возрастает. В этом заключается принципиальное преимущество супергетеродинного метода приема по сравнению с методом прямого усиления в отношении избирательности. Это преимущество оказывается тем более ощутимым, чем выше частота сигнала по сравнению с промежуточной частотой, т. е. чем ниже промежуточная частота. Выигрыш в избирательности можно количественно выразить отношением $\frac{f_{сиг}}{f_{пр}}$.

Поскольку контуры усилителя промежуточной частоты настраиваются раз и навсегда на выбранную (промежуточную) частоту и при приеме разных станций не перестраиваются, то в таком усилителе оказывается вполне возможным применение полосовых фильтров, составленных из нескольких настроенных контуров с хорошо подобранной, наивыгоднейшей для данной цели связью. Форма резонансной характеристики у таких фильтров может быть подогнана довольно близко к прямоугольной. Поэтому в супергетеродине высокую избирательность можно сочетать с малыми частотными искажениями, т. е. обеспечить пропускание без большого ослабления нужной полосы боковых частот без

ущерба для избирательности приемника. Коэффициент прямоугольности для полосового усилителя может быть доведен до значения, близкого к единице, все будет зависеть лишь от числа контуров, использованных в усилителе и их добротности.

Возможность такого резкого улучшения формы резонансной характеристики приемника при применении полосовых фильтров в усилителе промежуточной частоты обеспечивает выигрыш в избирательности даже при приеме частот более низких, чем промежуточная частота (например, на диапазоне длинных волн при $f_{пр} = 465$ *кгц*), хотя супергетеродинный метод сам по себе в этом случае не должен давать преимуществ в отношении избирательности.

К вопросу о выборе значения промежуточной частоты мы вернемся еще в гл. 3, а пока подведем краткие итоги сказанному в отношении избирательности:

1) Настройка супергетеродинного приемника на нужную станцию определяется почти исключительно настройкой контура гетеродина.

2) Избирательность супергетеродинного приемника может быть сделана более высокой, чем у приемника прямого усиления, и определяется в основном усилителем промежуточной частоты.

3) Избирательность супергетеродинного приемника повышается с повышением добротности контуров усилителя промежуточной частоты и с увеличением их числа.

4) В супергетеродинном приемнике высокая избирательность сочетается с меньшими частотными искажениями вследствие возможности применения полосовых фильтров.

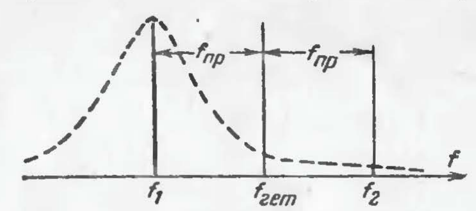
Избирательность по зеркальному каналу и предварительная селекция. Из всего сказанного выше не следует, однако, делать вывода о том, что входные контуры супергетеродинного приемника не играют никакой роли в обеспечении избирательности. Как уже отмечалось, роль входных контуров в отношении отстройки от мешающих станций, работающих на частоте, близкой к частоте принимаемого сигнала, невелика. В основном высокую избирательность приемнику в отношении таких помех обеспечивают контуры промежуточной частоты. Однако входные контуры играют важную роль в устранении помех по зеркальному или симметричному каналу.

При супергетеродинном приеме помехи могут создавать не только станции, работающие на частоте, очень близкой к частоте принимаемого сигнала, но и станции, частота ко-

лебаний которых значительно отличается от частоты принимаемой станции, однако находится в определенном соотношении с этой частотой. Это объясняется тем, что колебания промежуточной частоты могут создаваться в приемнике в результате биений между колебаниями сигнала и местного гетеродина в двух случаях, а именно:

$$f_{пр}=f_{гет}-f_{сиг} \quad \text{и} \quad f_{пр}=f_{сиг}-f_{гет},$$

т. е. в случае, когда частота гетеродина выше частоты сигнала на $f_{пр}$ и когда частота гетеродина ниже частоты сигнала на ту же $f_{пр}$. Как правило, в приемниках всегда применяются гетеродины, генерирующие колебания, частота которых выше частоты сигнала, т. е. $f_{гет}=f_{сиг}+f_{пр}$. Но возможны случаи, что на вход приемника будут воздействовать сигналы двух станций, работающих одновременно и различающихся между собой по частоте на $2f_{пр}$ (фиг. 15).



Фиг. 15. Расположение частот основного и зеркального канала.

Если приемник настроен на частоту f_1, то частота колебаний его гетеродина будет выше частоты сигнала на $f_{пр}$, т. е. $f_{гет}-f_1=f_{пр}$. Но при этом частота f_2 второй (мешающей) станции будет отличаться от частоты гетеродина также на $f_{пр}$, так как $f_2-f_{гет}=f_{пр}$. Частоты обеих рассматриваемых станций оказываются расположенными симметрично относительно частоты гетеродина и частота f_2 представляет как бы зеркальное отображение частоты f_1 по отношению к частоте гетеродина $f_{гет}$. В таком случае, если оба эти сигнала попадут в преобразовательный каскад, то в приемнике после преобразования появятся два сигнала с разностной частотой $f_{пр}$: оба они пройдут в усилитель промежуточной частоты и создадут взаимные помехи, так как после детектирования они будут слышны одновременно на выходе приемника. Обычно это приводит к появлению на выходе искажений и свистов.

Ослабление приема мешающих станций, обладающих симметричными частотами, или иначе избирательность приемника по симметричному (зеркальному) каналу, зависит исключительно от добротности входных контуров приемника, расположенных впереди преобразовательного каскада. Входные резонансные контуры должны ослаблять сигнал мешающей станции, не пропускать его к преобразователю частоты и таким образом предотвращать возможность возникновения после преобразования второго колебания с частотой, равной промежуточной.

На фиг. 15 изображена пунктиром резонансная характеристика входных контуров приемника. Из формы этой характеристики видно, что сигналы, частота которых намного отличается от частоты принимаемых колебаний, будут уже сильно ослаблены во входной части приемника. Чем выше промежуточная частота, тем дальше по частоте будет отстоять мешающий сигнал от принимаемого сигнала и тем лучше будет он ослабляться во входных контурах.

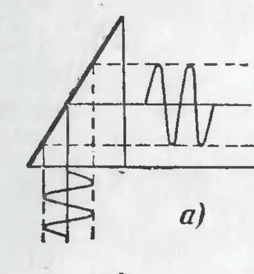
Таким образом, роль входных контуров супергетеродинного приемника сводится, во-первых, к выделению сигнала принимаемой станции и к повышению его напряжения на входе приемника за счет резонансных свойств этих контуров и, во-вторых, к возможно большему ослаблению сигналов мешающих станций, работающих на симметричной (зеркальной) частоте. Для удовлетворительного выполнения обеих этих функций входные контуры должны обладать возможно более высокой добротностью.

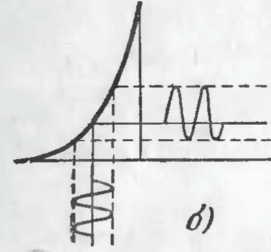
ДЕТЕКТОР

Поступившие в приемник модулированные колебания, пройдя через усилители высокой и промежуточной частоты приемника, поступают затем на детектор, где происходит выделение из них напряжения звуковой частоты. Основным видом искажений, которые может претерпеть сигнал до детектора, является частотная неравномерность, которая объясняется ослаблением крайних боковых частот резонансными контурами. Другим видом искажений, свойственных всякому ламповому усилителю, являются так называемые нелинейные искажения. Однако в высокочастотной части приемника и в усилителе промежуточной частоты эти искажения бывают настолько малы, что ими можно пренебречь.

Сущность нелинейных искажений заключается в том, что из-за непрямолинейности рабочих характеристик ламп фор-

ма усиленных колебаний анодного тока несколько отличается (искажается) от формы колебаний напряжения, подводимого к управляющей сетке лампы (фиг. 16). Если характеристика лампы строго прямолинейна, то изменения анодного тока по форме в точности совпадают с колебаниями, приложенными к сетке лампы. Если же эта характеристика искривлена, то колебания анодного тока, как уже говорилось, по форме не будут в точности соответствовать колебаниям напряжения на сетке лампы, т. е. форма колебаний анодного тока исказится, причем эти искажения будут тем больше, чем сильнее выражена нелинейность характеристики лампы и чем больший участок этой характеристики захватывается напряжением сигнала. Поскольку в усилителях высокой и промежуточной частоты на сетки ламп поступают весьма небольшие напряжения, не превышающие долей вольта, нелинейные искажения в этих каскадах бывают малы.





Фиг. 16. Усиление синусоидального напряжения при линейной характеристике лампы (*а*) и при нелинейной характеристике лампы (*б*).

В процессе же детектирования напряжения промежуточной частоты при определенных условиях могут возникать сравнительно большие нелинейные искажения. Поэтому выбор схемы детектора имеет весьма существенное значение.

Из всех ламповых детекторов (сеточный, анодный, катодный и диодный) наибольшими преимуществами обладает диодный детектор, получивший наиболее широкое применение в супергетеродинных приемниках.

Одним из ценных преимуществ диодного детектора является то, что он создает небольшие нелинейные искажения. Однако это преимущество сохраняется за ним лишь при условии, если к детектору подводятся достаточно большие напряжения, т. е. диодный детектор работает хорошо лишь при детектировании достаточно больших амплитуд. При малых амплитудах подводимого напряжения нелинейные искажения детектора резко возрастают. Для нормальной работы диодного детектора нужно подводить к нему модулированное напряжение, не менее 1 *в* *. В супергетеродинном приемнике это требование легко выполнимо, так как усилитель промежуточной частоты обеспечивает достаточно большое усиление подводимого к детектору напряжения, которое легко может быть доведено до величины порядка нескольких вольт. Потому в супергетеродинных приемниках обеспечиваются хорошие условия для работы диодного детектора. Получаемое достаточно большое напряжение промежуточной частоты позволяет, кроме того, осуществлять в упомянутых приемниках эффективную автоматическую регулировку усиления и этим путем поддерживать примерно одинаковую громкость приема при сильных колебаниях напряжения сигнала на входе приемника.

Для наилучшего использования диодного детектора необходимо правильно выбрать способ его связи с выходным контуром усилителя промежуточной частоты и правильно выбрать элементы нагрузки диода — сопротивление и емкость.

Схемы диодных детекторов и схемы автоматической регулировки усиления рассматриваются подробно в гл. 4 и 5.

УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Усиление напряжения низкой частоты после детектора осуществляется в супергетеродинных приемниках точно так же, как и в приемниках прямого усиления. Поэтому этот вопрос, как не связанный с принципами супергетеродинного приема, в настоящей книге отдельно не рассматривается.

При правильном выборе элементов части схемы, включающей в себя усилители высокой и промежуточной частоты и детекторный каскад, качество воспроизведения звука приемником (и в частности, такие показатели, как частотная характеристика и нелинейные искажения всего приемного тракта, начиная от антенного входа и до выхода на громкоговоритель) будет почти всецело зависеть от качественных показателей его усилителя низкой частоты и громкоговорителя. Высокочастотная часть приемника может оказать заметное влияние лишь на воспроизведение высших частот модуляции, которые, как указывалось выше, ослабляются резонансными контурами. В таком случае частотная характеристика низкочастотной части приемника может отличаться от частотной характеристики всего приемника; последнюю в отличие от первой называют обычно характеристикой верности приемника.

* Это следует понимать так, что напряжение несущей частоты должно быть не менее 1 *в*.

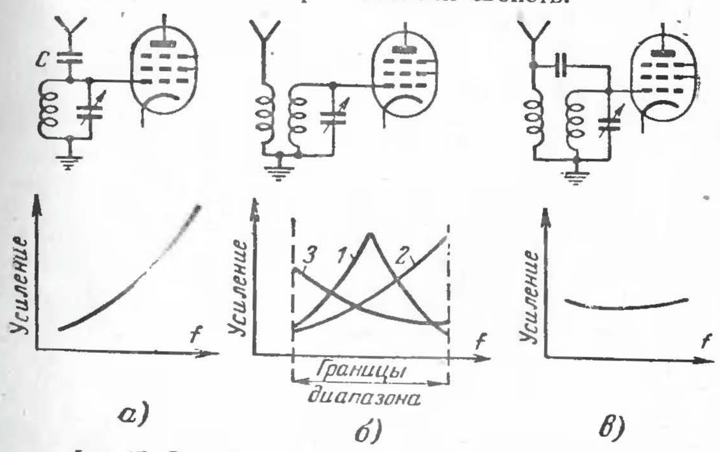
Глава вторая

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ

Преобразовательная ступень является одной из наиболее ответственных частей супергетеродинного приемника; состоит она из смесителя и гетеродина. В качестве смесителя и гетеродина применяются либо две отдельные лампы, либо функции обеих их выполняет одна многоэлектродная лампа специальной конструкции, называемая преобразователем частоты. Как смеситель, так и гетеродин имеют свои колебательные контуры, с помощью которых производится настройка входной цепи приемника на принимаемую, а гетеродина — на вспомогательную частоту, причем настройка всех этих контуров должна осуществляться одной общей ручкой [1]. Кроме того, в анодную цепь смесителя включается контур, настроенный на промежуточную частоту и предназначенный для выделения напряжения этой частоты после преобразования.

Входная цепь. Резонансный контур, включенный между антенной и преобразовательным каскадом приемника, образует входную цепь последнего. Но антенну нельзя подключать непосредственно к этому контуру; она, во-первых, вносила бы в него большие потери и этим самым ухудшала бы резонансные свойства контура; во-вторых, собственная емкость антенны, подключенной к контуру, влияет на его настройку и делает последнюю зависимой от данных антенны. Поэтому антенна связывается с входным контуром не непосредственно, а при помощи вспомогательных элементов. Наиболее характерные способы этой связи показаны на фиг. 17,*а*, *б*, *в*, где схема *а* иллюстрирует способ емкостной связи, схема *б* — способ индуктивной связи и схема *в* — способ индуктивно-емкостной связи антенны с входным контуром приемника.

Благодаря резонансным свойствам контура под действием колебаний антенны на нем возникает более высокое напряжение, чем э. д. с. сигнала, действующая в антенне. Число, показывающее, во сколько раз напряжение на входном контуре превышает э. д. с. в антенне, называется коэффициентом усиления входной цепи. Чем сильнее связь входного контура с антенной цепью, тем больше должно быть усиление. Но вместе с этим возрастает и влияние антенны на контур; повышаются расстройка, которую она в него вносит, и дополнительные потери. Поэтому при чрезмерно сильной связи из-за увеличения этих потерь усиление перестает расти и даже начинает падать. Вследствие этого при выборе степени связи входного контура с антенной приходится итти на компромисс: приходится устанавливать такую связь, при которой получается достаточно хорошая передача напряжения во входной контур и в то же время вносится в него не слишком большая расстройка и происходит не очень существенное ухудшение его резонансных свойств.



Фиг. 17. Способы связи входного контура с антенной.
а — емкостная связь; *б* — индуктивная связь; *в* — комбинированная индуктивно-емкостная связь.

Поскольку приемник рассчитывается на работу в широком диапазоне радиочастот и на различные данные самой антенны, к входной части его предъявляются два следующих основных требования: 1) она должна обладать возможно большей равномерностью усиления по диапазону для обеспечения равномерной чувствительности приемника и 2) возможно большей независимостью от данных антенны, подключение которой не должно нарушать настройки и градуировки приемника.

Емкостная связь (фиг. 17,*а*) обеспечивает достаточное усиление, и при небольшой емкости конденсатора связи *C* входной контур мало зависит от данных антенны. Но коэффициент усиления входной цепи, как это видно из кривой, приведенной на фиг. 17,*а*, оказывается при этом неравномерным по диапазону.

Индуктивная связь с антенной при правильно выбранной катушке связи может обеспечить весьма равномерное уси-

[1] Предполагается, что в приемнике нет усилителя высокой частоты.

ление входной цепи приемника по диапазону. Для этого необходимо, чтобы собственная частота антенной цепи, состоящей из самой антенны и катушки связи, была ниже самой низкой частоты принимаемого диапазона.

Частоту антенной цепи определяет индуктивность катушки связи, собственная емкость этой катушки и емкость антенны. (Индуктивностью антенны мы пренебрегаем.) В зависимости от того, в какую область частот попадает собственная частота антенной цепи, усиление входной части приемника будет изменяться по диапазону различно, как это показывают кривые фиг. 17,*б*. Кривая *1* соответствует случаю, когда собственная частота антенной цепи лежит внутри диапазона принимаемых частот, кривая *2* — когда эта частота выше наивысшей частоты диапазона, и кривая *3* — когда эта частота ниже самой низкой частоты диапазона. Наибольшую равномерность усиления входной цепи, как мы видим, обеспечивает последнее условие.

Хорошие электрические характеристики и простота осуществления сделали эту схему связи наиболее распространенной в радиовещательных приемниках.

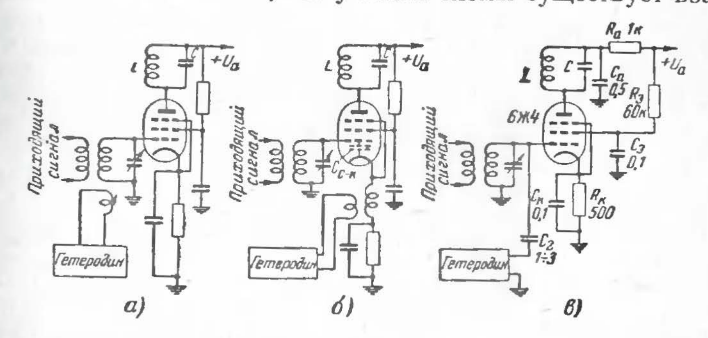
Схема фиг. 17,*в*, представляющая комбинацию индуктивной и емкостной связи с антенной, при надлежащем выборе ее элементов может дать еще лучшую равномерность усиления по диапазону, так как за счет индуктивной связи (при большой индуктивности катушки связи) обеспечивается подъем усиления к низкочастотному концу диапазона, а за счет емкостной связи — к высокочастотному концу его. Этот способ связи также довольно часто применяется на практике, но все-таки получил меньшее распространение, так как он более сложен по выполнению.

Принятый и усиленный во входной цепи сигнал затем подводится к преобразовательной лампе.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Простейшая схема преобразовательного каскада, работающего на обычном высокочастотном пентоде (например, типа 6Ж7 или 6Ж8), показана на фиг. 18,*а*. Здесь как принимаемый сигнал, так и колебания от вспомогательного гетеродина подаются на управляющую сетку смесительной лампы, которая работает в режиме анодного детектирования. В анодной цепи этой лампы протекают как токи основных частот (сигнала и гетеродина), так и токи разностной, промежуточной частоты. Напряжение колебаний промежуточной частоты выделяется на контуре *LC*, настроенном на эту частоту и поэтому представляющем для них большое сопротивление. Для токов же, изменяющихся с частотой сигнала и гетеродина, этот контур будет оказывать небольшое сопротивление, а потому и напряжения этих частот на нем практически не будут выделяться. Таким образом, на нагрузке в анодной цепи смесительной лампы мы получаем напряжение новой (промежуточной) частоты, возникающей в процессе преобразования.

Схема преобразователя частоты, в котором напряжения сигнала и гетеродина подаются на одну и ту же сетку лампы, обладает рядом недостатков. Наиболее существенным из них является то, что у такой схемы существует взаимозависимость настроек входного контура и контура гетеродина: малейшее изменение настройки одного из этих контуров оказывает влияние на настройку другого контура.



Фиг. 18. Схемы преобразовательного каскада с высокочастотным пентодом.

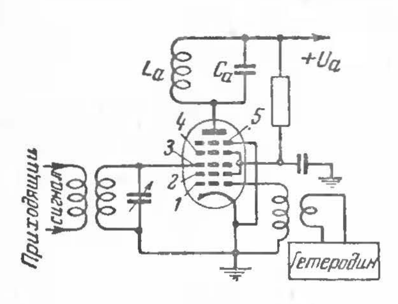
На фиг. 18,*б* изображена схема преобразователя с так называемой катодной связью. Эта схема отличается от предыдущей несколько меньшей взаимозависимостью настроек упомянутых выше контуров, но и она не свободна от этого недостатка. В особенности влияние его сказывается на коротких волнах. Напряжение гетеродина просачивается в сеточный контур через емкость $C_{с.к}$ сетка — катод.

При применении в качестве смесителя лампы с большой крутизной характеристики, например телевизионного пентода 6Ж4, вредное влияние гетеродина на входной контур может быть уменьшено за счет сильного ослабления связи с гетеродином. При работе смесителем лампа 6Ж4 требует очень небольшого напряжения гетеродина. Поэтому смесительный каскад с этой лампой может быть собран по схеме

фиг. 18,*в*, где связь с гетеродином осуществляется просто через очень небольшую емкость $C_г$, порядка всего $1 \div 3$ *пф*.

На этой схеме, представляющей для некоторых случаев практический интерес, указаны также примерные данные деталей, определяющих режим работы лампы 6Ж4.

В радиовещательных приемниках такое „односеточное" преобразование частоты в силу свойственных ему недостатков не применяется. Обычно функции смесителей или преобразователей частоты выполняют многосеточные лампы. При использовании такой лампы в качестве преобразователя напряжение сигнала подается на одну ее сетку, а напряжение гетеродина — на другую, причем обе эти сетки не связаны между собой, а существующая емкость между ними весьма мала (фиг. 19). Смешение колебаний происходит в общем электронном потоке и осуществляется следующим образом: поток электронов, летящих от катода к аноду лампы, сначала встречает на своем пути сетку *1*, на которую поступает одно из напряжений, например напряжение собственного гетеродина. Под действием этого напряжения электронный поток колеблется, пульсирует с частотой $f_{гет}$. Затем этот же поток проходит через сетку *3*, на которую подается напряжение сигнала, и как бы модулируется последним, т. е. начинает изменяться еще и с частотой $f_{сиг}$. В результате такого двойного воздействия возникают биения между напряжениями двух разных частот и вследствие имеющих место нелинейных процессов в электронном потоке, т. е. в анодном токе лампы, появляется слагающая разностной частоты ($f_{гет} - f_{сиг}$ или $f_{сиг} - f_{гет}$), которая и выделяется с помощью контура $L_a\ C_a$.



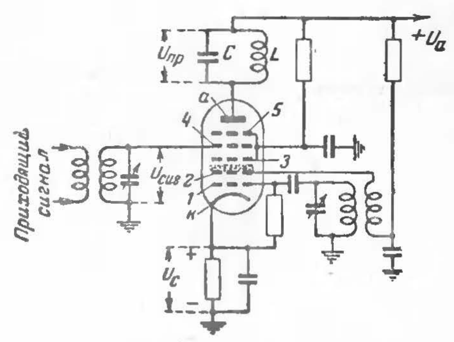
Фиг. 19. Преобразовательный каскад с пятисеточной лампой и с отдельным гетеродином.

Сетки *2* и *4* являются экранирующими и служат для того, чтобы свести к минимуму емкостную связь между сетками *1* и *3*, с одной стороны, и между сеткой *3* и анодом, — с другой стороны. Сетка *5* в этом случае является противодинатронной.

Картина не изменится, если мы поменяем назначение сеток *1* и *3*: подадим напряжение сигнала на сетку *1*, а напряжение гетеродина на сетку *3*. Так, в частности, работает смесительная лампа 6Л7.

Мы пока рассматривали способы преобразования частоты, которые требуют отдельного гетеродина. В этом случае преобразовательный каскад состоит из двух ламп: одна из них выполняет роль гетеродина, вторая — роль смесителя, в котором происходит смешение колебаний разных частот.

Многосеточные лампы (с пятью и более сетками) дают возможность избавиться от применения отдельной гетеродинной лампы; одна и та же многосеточная лампа может выполнять одновременно функции и гетеродина, и смесителя, причем эти функции распределяются между разными ее сетками.



Фиг. 20. Одноламповый преобразовательный каскад с гептодом.

Для преобразования частоты в настоящее время наибольшее применение получили пятисеточные лампы, называемые обычно по числу электродов гептодами («семиэлектродные»—пять сеток, анод и катод); иначе еще их называют иногда пентагридами (пентагрид в переводе означает «пятисеточная»). Лампы эти конструируются обычно так, что сетка, на которую подается сигнал, воздействует на электронный поток сильнее, чем сетка, на которую подается напряжение гетеродина.

Типичная схема преобразовательного каскада с использованием гептода приведена на фиг. 20. В этой схеме напряжение сигнала воздействует на четвертую (сигнальную) сетку лампы. Если в анодную цепь включить контур, настроенный также на частоту сигнала, то лампа будет работать как обычный усилительный тетрод. Для того чтобы она работала в качестве преобразователя частоты, контур *LC*, включенный в анодную цепь, настраивается, как уже указывалось, на промежуточную частоту. Контур гетеродина включается в цепь первой сетки лампы, а обратная связь на этот контур подается из цепи второй сетки, которая выполняет роль ано-

да гетеродина. В результате самовозбуждения этой части схемы на первых двух сетках лампы создается колебательное напряжение с частотой, определяемой данными гетеродинного контура.

Гептод такого рода представляет как бы комбинацию из двух ламп, соединенных последовательно: триода, состоящего из катода K, сетки *1* и анода *2*, и тетрода, у которого сетка *4* является управляющей, сетка *5* — экранирующей и электрод A — анодом. Одна от другой эти лампы отделены экраном — сеткой *3* — и связаны между собой только общим электронным потоком, излучаемым катодом K.

Экранирующие сетки *3* и *5* соединяются между собой и на них подается общее постоянное положительное напряжение; переменного напряжения на этих сетках нет.

Рассматривая физические процессы в гептоде-преобразователе несколько более подробно, можно дать следующее объяснение его работы. Электроны, излучаемые катодом K, пролетев сквозь сетки *1*, *2* и *3*, встречают на своем пути управляющую (сигнальную) сетку *4*, которая находится под небольшим отрицательным смещением — U_c. Часть электронов задерживается этой сеткой и образует под нею электронное облачко, которое и служит как бы эффективным катодом для тетродной части лампы. Изменения потенциала сетки *4* вызывают изменения анодного тока лампы за счет электронов этого облачка, полетом которых управляет сетка *4*, пропускающая их к аноду в большем или меньшем количестве — в зависимости от своего потенциала. Крутизна характеристики тетродной части, т. е. степень изменения анодного тока лампы под действием изменения напряжения на сетке *4*, зависит от плотности электронного облачка, иначе говоря, — от количества электронов в нем. Но плотность этого облачка, в свою очередь, зависит от потенциала сеток *1* и *2*. Когда триодная часть лампы генерирует, потенциалы сеток *1* и *2* изменяются с частотой генерируемых колебаний, и с такой же частотой изменяется плотность электронного облачка. Следствием этого является то, что крутизна характеристики тетродной части изменяется точно с такой же частотой. Как показывает теория, такое периодическое изменение крутизны характеристики тетродной части лампы при наличии на сетке переменного напряжения приходящих сигналов приводит к появлению в анодной цепи составляющей тока i_a с разностной частотой ($f_{гет} - f_{сиг}$) или ($f_{сиг} - f_{гет}$). Проходя через контур LC, настроенный на эту

частоту и представляющий для таких колебаний большое сопротивление, этот ток создает на контуре напряжение промежуточной частоты.

Теория преобразования частоты в многосеточных лампах разработана В. И. Сифоровым.

Задачей преобразовательного каскада является, в конечном счете, превращение принятых модулированных колебаний высокой частоты в колебания промежуточной частоты. При этом, естественно, желательно, чтобы одновременно происходило и усиление их, т. е. чтобы полученное в результате преобразования напряжение промежуточной частоты было больше, чем поступившее на преобразователь напряжение сигнала высокой частоты.

Усиление преобразовательного каскада определяется как отношение напряжения промежуточной частоты, выделяющегося на контуре, находящемся в анодной цепи преобразовательной лампы, к напряжению высокочастотного сигнала, подводимому к управляющей (сигнальной) сетке той же лампы (фиг. 20). Если, например, к сигнальной сетке подводится от антенны напряжение $U_{сиг}$, равное 100 *мкв*, а на контуре LC выделяется напряжение промежуточной частоты $U_{пр}$, равное 3 *мв* (3 000 *мкв*), то усиление преобразовательного каскада будет:

$$K_{пр} = \frac{U_{пр}}{U_{сиг}} = \frac{3\,000}{100} = 30.$$

Величина этого усиления зависит от параметров смесительной лампы, от качества контуров промежуточной частоты, а также от величины напряжения гетеродина.

Часто в качестве основного параметра преобразовательной лампы в справочных таблицах приводится ее крутизна преобразования $S_{пр}$, которая указывает величину отношения составляющей анодного тока промежуточной частоты к напряжению сигнала на приемной сетке, т. е.

$$S_{пр} = \frac{i_{a.\,пром}}{U_{сиг}}.$$

Этим параметром при расчетах преобразовательного каскада пользуются так же, как крутизной характеристики лампы при расчетах усилительного каскада. Если внутреннее сопротивление преобразовательной лампы R_i достаточно велико — в несколько раз превосходит сопротивление

нагрузки $Z_{рез}$, — о усиление каскада определяется как

$$K_{пр} = S_{пр} Z_{рез},$$

где $Z_{рез}$ — резонансное сопротивление контура промежуточной частоты, включенного в анодную цепь лампы, *ком*; $S_{пр}$ — крутизна преобразования, *ма/в*.

Если сопротивление нагрузки $Z_{рез}$ соизмеримо с R_i, то усиление каскада определяется по формуле

$$K_{пр} = S_{пр} \frac{Z_{рез}}{1 + \frac{Z_{рез}}{R_i}}.$$

Следует учитывать, что величина $S_{пр}$ не является строго определенной для данной лампы; она зависит от выбранного режима и, в частности, от амплитуды колебательного напряжения на гетеродинной сетке. До определенного предела величина $S_{пр}$ растет с увеличением напряжения гетеродина. Существует некоторый наивыгоднейший режим гетеродина, при котором $S_{пр}$ достигает наибольшей величины. Это наибольшее значение $S_{пр}$ обычно и приводится в справочных данных для ламп.

При налаживании приемника нужно стремиться получить такое колебательное напряжение гетеродина, который обеспечивает наибольшую величину крутизны преобразования $S_{пр}$.

ГЕТЕРОДИН

Гетеродин является необходимой частью схемы всякого супергетеродинного приемника и в очень значительной мере определяет работу преобразовательного каскада.

Как известно, принцип работы лампового генератора заключается в том, что при достаточно сильной обратной связи часть энергии из анодной цепи лампы переходит в цепь ее сетки. Благодаря этому происходит самовозбуждение каскада и в нем устанавливаются незатухающие колебания, частота которых определяется данными контура, включенного в цепь сетки или анода лампы.

Маломощные ламповые генераторы или гетеродины, используемые в супергетеродинных приемниках, строятся по различным схемам. Но независимо от схемы к гетеродину приемника предъявляется ряд определенных требований. Основные из них сводятся к следующему:

1. Независимость (неизменность) частоты генерируемых колебаний от влияния различных факторов: времени, окружающей температуры, питающих напряжений и т. п.
2. Устойчивая генерация по всему диапазону частот.
3. Достаточная амплитуда колебаний по всему диапазону частот.

Выполнение последних требований обеспечивает устойчивое усиление при преобразовании частоты, поскольку эффект преобразования, как уже указывалось, пропорционален, кроме всего прочего, амплитуде колебаний гетеродина. Выполнение этих требований не представляет обычно особых затруднений и обеспечивается главным образом правильным выбором рабочего режима лампы.

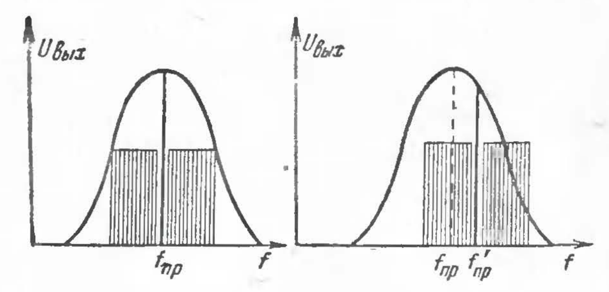
Значительно сложнее обстоит дело с соблюдением требования относительно устойчивости частоты. Между тем выполнение этого требования имеет исключительное значение для качества работы приемника. Как следует из самого принципа работы супергетеродинной схемы, при настройке приемника на заданную частоту нужно не только настроить на частоту сигнала входные контуры, но и настроить гетеродин на частоту, отличающуюся от частоты принимаемых колебаний точно на величину, равную промежуточной частоте. Если частота гетеродина окажется неустойчивой, то и промежуточная частота будет изменяться. Степень устойчивости гетеродина определяет и степень устойчивости приема, т. е. возможность приема станций без дополнительных подстроек в процессе слушания.

Действительно, если частота гетеродина $f_{гет}$ не меняется произвольно, то и промежуточная частота, представляющая разность частот $f_{гет} - f_{сиг}$, будет также оставаться строго постоянной. Поэтому и никакой подстройки приемника не потребуется, поскольку частота колебаний принимаемой станции на передатчике с помощью специальных мер поддерживается строго постоянной. И, наоборот, неустойчивость частоты гетеродина при постоянной частоте сигнала привела бы к тому, что промежуточная частота изменялась бы, следуя за частотой гетеродина. Это вызывало бы появление искажений и уменьшение усиления, так как контуры усилителя промежуточной частоты оказывались бы расстроенными по отношению к частоте сигнала. Сказанное иллюстрируется фиг. 21, на которой показано, что при точной настройке гетеродина спектр частот сигнала будет симметричен относительно середины полосы пропускания усилителя промежуточной частоты (фиг. 21,*а*). Однако при ухо-

де частоты гетеродина разность частот колебаний гетеродина и колебаний сигнала не будет равна номинальной промежуточной частоте, на которую настроены контуры усилителя промежуточной частоты. Вследствие этого и спектр частот колебаний сигнала будет несимметричен относительно середины резонансной характеристики усилителя промежуточной частоты (фиг. 21,*б*). Это приведет к искажениям и ослаблению приема, а при значительном уходе частоты гетеродина — к полному пропаданию приема.

Частота колебаний гетеродина может изменяться по следующим причинам:

а) вследствие изменения электрических параметров колебательного контура гетеродина и внутриламповых емкостей



Фиг. 21. Расположение спектра боковых частот при точной настройке (*а*) и при расстройке гетеродина (*б*).

и параметров лампы, происходящих из-за изменения температуры этих деталей при прогреве лампы гетеродина;

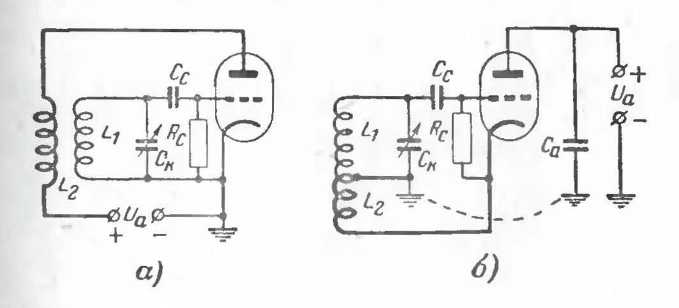
б) вследствие изменений напряжения питания, вызывающих изменения формы характеристики лампы, величины сеточных токов и формы колебаний, что, в свою очередь, влечет за собой изменения частоты колебаний;

в) от механических воздействий (тряски, вибраций и т. п.), которые могут вызывать изменения электрических данных элементов колебательного контура, т. е. расстройку этого контура.

Рассматривая и оценивая различные схемы гетеродинов, надо обязательно учитывать изложенные выше соображения. Кроме того, при выборе схемы гетеродина приходится принимать во внимание еще и ряд дополнительных требований, например удобство осуществления переключения диапазонов в многодиапазонном приемнике, удобство получения согласованной настройки входного и гетеродинного контуров, простоту конструкции и т. п.

В современных приемниках применяются различные схемы гетеродинов, каждая из которых обладает своими достоинствами и недостатками

Ниже приводится краткое описание схем гетеродинов, наиболее часто встречающихся в радиовещательных сетевых приемниках. В приемниках с батарейным питанием использование некоторых из этих схем (например, трехточечной индуктивной схемы) связано с введением добавочных усложнений. Объясняется это тем, что у ламп прямого накала катод (нить накала) соединен непосредственно с источниками питания и это требует применения дополнительных разделительных элементов. Но эти усложнения не сказываются на самых принципах работы той или иной схемы.



Фиг. 22. Схема гетеродина с настроенным контуром в цепи сетки.

Схема с контуром в цепи сетки и с индуктивной обратной связью. Простейшей является схема гетеродина с настроенным контуром в цепи сетки и с индуктивной обратной связью (фиг. 22,*а*). Эта схема часто применяется в приемниках вследствие своей простоты и является типичной для гетеродинной части пятисеточных преобразовательных ламп типа 6А8 (см. фиг. 31,*а*).

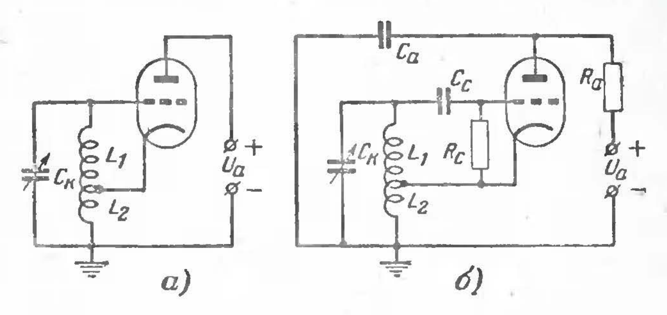
К числу недостатков этой схемы относятся довольно сильная зависимость частоты от рабочего режима лампы и недостаточно равномерная генерация по диапазону.

Для повышения стабильности гетеродина в данной схеме, как и во всех рассматриваемых далее случаях, выгодно применять колебательные контуры с возможно высокой добротностью.

Наивыгоднейший режим устанавливается с помощью подбора обратной связи и величины сопротивления утечки сетки.

Некоторое видоизменение этой схемы приведено на фиг. 22,*б*. В этом варианте схемы обратная связь из цепи анода перенесена в цепь катода. Такая схема позволяет конструктивно выполнять индуктивности L_1 и L_2 в виде одной катушки с отводом.

Трехточечная индуктивная схема. Трехточечная индуктивная схема относится к числу наиболее широко применяемых схем гетеродина. Принцип работы этой схемы иллю-



Фиг. 23. Трехточечная индуктивная схема гетеродина.

стрируется фиг. 23,*а*. Практическое применение эта схема находит в несколько измененном виде — в виде так называемой схемы с параллельным питанием и с утечкой в цепи сетки (фиг. 23,*б*).

В трехточечной схеме сетка и анод подключаются к противоположным концам катушки колебательного контура относительно катода. Такое соединение автоматически обеспечивает требуемый для самовозбуждения схемы сдвиг фаз на угол 180° между напряжениями на сетке и на аноде. Необходимые же количественные соотношения между величинами колебательных напряжений на сетке и на аноде получаются путем подбора надлежащего соотношения между индуктивностями L_1 и L_2. Частота колебаний определяется данными колебательного контура, состоящего из суммы этих двух индуктивностей и емкости $C_к$. Положение точки, от которой берется отвод к катоду, имеет весьма существенное значение, так как определяет величину обратной связи и силу колебаний в контуре. Обычно число витков в L_2 составляет от $^1/_4$ до $^1/_2$ общего числа витков в катушке.

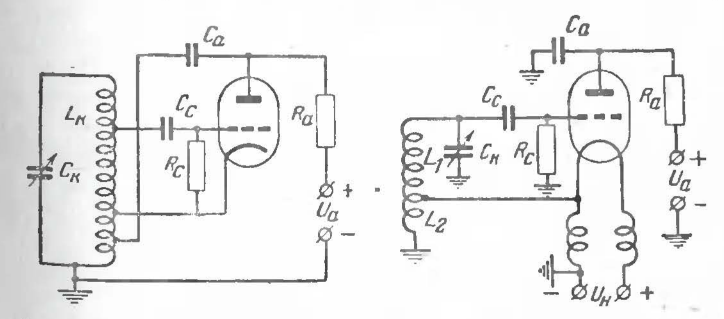
Слишком слабая связь может привести к срыву колебаний на низкочастотном конце диапазона. Слишком же сильная связь может вызвать перевозбуждение, искажение синусоидальной формы колебаний и появление сильных гармо-

ник основной частоты (особенно на высокочастотном конце поддиапазона), что вызывает снижение устойчивости частоты и другие нежелательные явления. Гармоники гетеродина могут дать с частотами некоторых станций такие комбинации, в результате которых в преобразователе возникнут частоты, близкие к промежуточной; пройдя в усилитель промежуточной частоты, такие комбинационные частоты приведут к появлению на выходе приемника интерференционных свистов, искажающих прием.

При правильном выборе соотношений между L_1 и L_2 трехточечная схема обеспечивает устойчивую генерацию и хорошую стабильность частоты.

Одним из лучших средств повышения стабильности гетеродина является уменьшение степени связи контура с цепью сетки лампы. Для этого у катушки делается еще один отвод, к которому присоединяется сетка лампы. С этой же точки зрения выгодно уменьшать и связь анодной цепи лампы с контуром (фиг. 24). Чем меньше та часть катушки, к которой присоединены емкости лампы (емкость сетка — катод и анод — катод), тем меньше влияют на частоту контура изменения этих емкостей при их разогреве. Это замечание остается справедливым для любой схемы гетеродина.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что трехточечная схема является одной из наилуч-



Фиг. 24. Трехточечная индуктивная схема с ослабленной связью.

Фиг. 25. Трехточечная схема для лампы с прямым накалом.

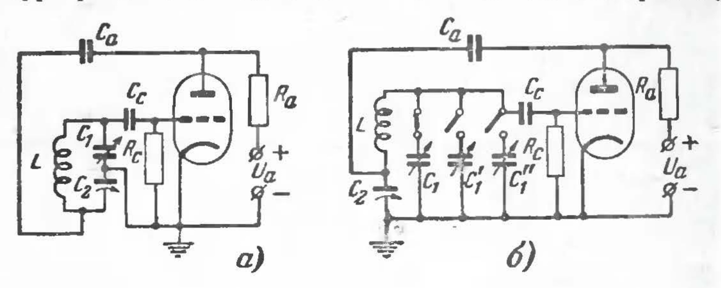
ших и в отношении ее независимости от режима питания.

Необходимым условием устойчивой работы схемы является тщательный подбор величины конденсатора и сопротивления утечки сетки. Для радиовещательных приемников зна-

чение C_c лежит обычно в пределах 50—100 *пф*, а значение $R_c = 30—80$ *ком*.

Трехточечная индуктивная схема особенно удобна для применения в приемниках с подогреваемыми лампами. В случае применения ее в батарейных приемниках в цепь нитей накала ламп приходится включать высокочастотные дроссели (фиг. 25). В противном случае батарея накала будет шунтировать катушку L_2.

Трехточечная емкостная схема. Трехточечная емкостная схема приведена на фиг. 26,*а*. Емкость ее колебательного контура разделена на две части: C_1 и C_2. Как и в предыдущем случае, здесь автоматически обеспечивается сдвиг фаз на 180° между колебательными напряжениями на сетке и на аноде. Соотношение этих напряжений определяется соотношением емкостей C_1 и C_2. Эта схема оказывается особенно удобной для применения в приемниках с фиксированной настройкой на несколько станций; при этом настройка на отдельные станции может осуществляться с помощью подстроечных конденсаторов простейшего типа (фиг. 26,*б*). В приемниках с плавной настройкой эта схема применяется редко.

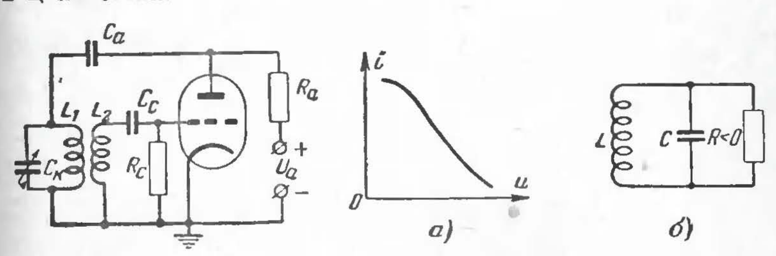


Фиг. 26. Трехточечная емкостная схема (*а*) и для настройки на фиксированные станции (*б*).

Схема с настроенным контуром в цепи анода. К числу простейших относятся также схемы гетеродинов с настроенным контуром в цепи анода и с небольшой катушкой для индуктивной обратной связи в цепи сетки. Обычно для этих схем применяется система параллельного питания анода высоким напряжением, как это показано на фиг. 27. Такая система обладает тем ценным преимуществом, что переменный конденсатор не находится под высоким напряжением и ротор его может быть заземлен, что весьма желательно с конструктивной точки зрения.

Уже при небольших значениях добротности анодного контура (порядка 10—20) такая схема обеспечивает сдвиг фаз на 180° между напряжением на сетке и напряжением на аноде, необходимый для возникновения генерации.

Схема с настроенным контуром в цепи анода обладает большей стабильностью частоты при колебаниях анодного напряжения и при изменениях напряжения автоматической регулировки усиления, чем схема с настроенным контуром в цепи сетки.



Фиг. 27. Схема гетеродина с настроенным контуром в цепи анода.

Фиг. 28. Характеристика участка с отрицательным сопротивлением (*а*) и включение контура параллельно отрицательному сопротивлению (*б*).

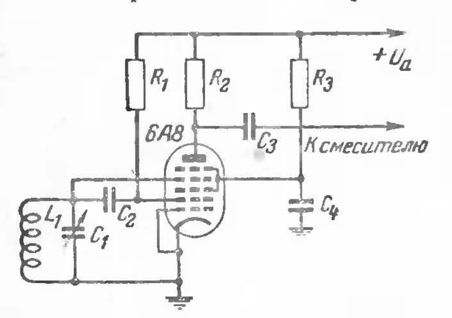
Транзитронная схема. Относительно высокую степень стабильности обеспечивают гетеродины, собираемые по так называемой транзитронной схеме, получившей большое распространение в последнее время. Принцип работы таких схем менее известен широкому кругу радиолюбителей, поэтому на его рассмотрении мы остановимся несколько подробнее.

В транзитронных гетеродинах используется свойство многосеточных ламп создавать при определенных условиях отрицательное внутреннее сопротивление в цепи некоторых электродов. Это значит, что ток в цепи такого электрода с увеличением напряжения на нем изменяется по спадающей характеристике, т. е. он не увеличивается, как в обычных цепях, подчиняющихся закону Ома, а наоборот — уменьшается (фиг. 28,*а*). Физически это соответствует понятию об отрицательном сопротивлении.

Если параллельно такому участку с отрицательным сопротивлением присоединить настроенный контур *LC* (фиг. 28,*б*), то это отрицательное сопротивление как бы уменьшает потери (затухание) контура. В случае, если отрицательное сопротивление, вносимое в контур, по абсолютной величине будет равно сопротивлению потерь в контуре

или превзойдет его, то в контуре возникнут незатухающие колебания.

Схема гетеродина на лампе 6А8, работающего по принципу отрицательного сопротивления, приведена на фиг. 29. Здесь используется свойство лампы 6А8, заключающееся в том, что при подаче на ее четвертую сетку отрицательного напряжения ток в цепи второй сетки увеличивается, и наоборот. Происходит это потому, что при уменьшении потенциала U_{c4} электроны, идущие от катода к аноду, тормозятся четвертой сеткой и ток анода I_a уменьшается; за счет задерживаемых четвертой сеткой электронов увеличивается ток I_{c2} второй сетки. И, наоборот, при увеличении потенциала четвертой сетки электроны получают добавочное ускорение, ток анода I_a увеличивается, но за счет этого уменьшается ток I_{c2} второй сетки.



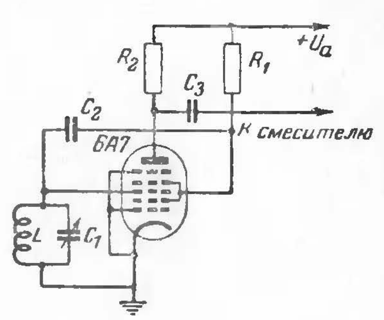
Фиг. 29. Транзитронная схема гетеродина на лампе 6А8.

Это свойство лампы можно использовать таким образом: подать на вторую сетку некоторый постоянный положительный потенциал, а затем прикладывать ко второй и к четвертой сеткам одновременно одинаковые приращения напряжения. Тогда при подаче на оба эти электрода небольшого положительного напряжения ток I_{c2} второй сетки будет несколько уменьшаться, несмотря на то, что напряжение на этой сетке несколько возросло. При подаче отрицательного напряжения этот ток будет, наоборот, увеличиваться. Объясняется это тем, что при таких условиях на электронный поток воздействуют одновременно обе сетки, т. е. изменение потенциалов как U_{c2}, так и U_{c4}, но управляющее действие четвертой сетки значительно сильнее, чем действие второй сетки, которая конструктивно представляет собой всего навсего два металлических прутка. Поэтому изменение U_{c4} на несколько вольт действует во много раз сильнее, чем изменение U_{c2} на ту же величину. В результате этого цепь второй сетки при таком включении начинает вести себя как отрицательное сопротивление.

Зависимость тока в цепи этой сетки от напряжения на ней приобретает такой характер, как показано на фиг. 28.

Включив контур L_1C_1 так, как показано на фиг. 29, мы получаем возможность использовать это отрицательное сопротивление. В цепь четвертой сетки контур включен непосредственно, а в цепь второй сетки — через большую емкость C_2 (порядка 500—1 000 *пф*). Эта емкость преграждает путь постоянному положительному напряжению на четвертую сетку, но колебательное напряжение, образующееся на контуре L_1C_1, прикладывается к обоим электродам в одинаковой фазе. Следовательно, создаются те условия для получения отрицательного сопротивления, которые были описаны выше.

Контур L_1C_1 оказывается включенным параллельно отрицательному сопротивлению цепи второй сетки и в нем возникают незатухающие колебания. Поскольку это колебательное напряжение приложено к сеткам лампы, в цепи ее анода появится переменная составляющая тока такой же частоты и поэтому на сопротивлении R_2 образуется падение переменного напряжения этой же частоты. Через емкость C_3 это напряжение можно подать на смесительную лампу, как это обычно делается в схеме с отдельным гетеродином, и использовать его для преобразования частоты принимаемых сигналов в приемнике.



Фиг. 30. Гетеродин по транзитронной схеме на лампе 6А7.

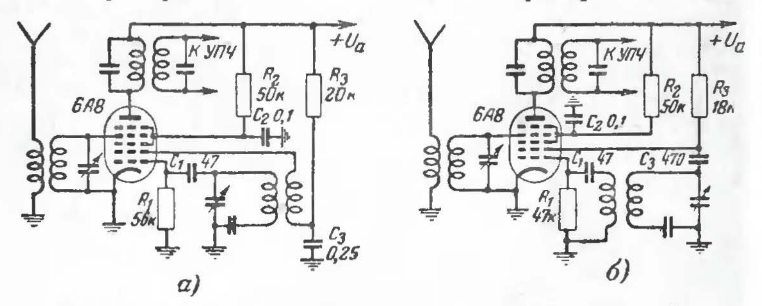
Транзитронный гетеродин может быть осуществлен и на лампе 6А7 по схеме, изображенной на фиг. 30. В этом случае изменения напряжения прикладываются к третьей и второй сеткам. Третья сетка (сигнальная) конструктивно выполнена так, что ее управляющее действие велико (густая сетка). Вторая сетка (экранирующая) делается более редкой и обладает меньшим управляющим действием. Благодаря этому происходит точно такая же картина, как и в предыдущем случае с лампой 6А8: одновременное увеличение напряжения в небольших пределах на обеих сетках приводит к уменьшению тока в цепи второй сетки, т. е. делает сопротивление цепи этой сетки отрицательным. Следует заметить, что такая зависимость получается не в любых усло-

виях, а лишь при некотором, специально подобранном режиме работы лампы.

Благодаря наличию всего одного контура транзитронная схема гетеродина отличается относительной простотой и повышенной стабильностью в работе. Такая схема гетеродина была применена, в частности, в супергетеродинном приемнике первого класса «Латвия».

СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

В начале настоящей главы были приведены схемы, иллюстрирующие принцип работы преобразовательного каскада. Рассмотрим некоторые практические схемы однополамповых преобразователей. В качестве преобразовательных



Фиг. 31. Схемы преобразовательного каскада на лампе 6А8.
а — гетеродин с настроенным контуром в цепи сетки; *б* — гетеродин с настроенным контуром в цепи анода.

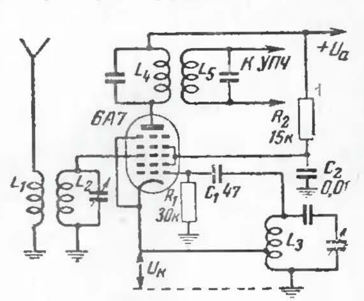
ламп используются гептоды описанного выше устройства — лампа типа 6А8 или несколько видоизмененная по сравнению с ней лампа типа 6А7.

Для преобразователей с лампой 6А8 типичными являются схемы фиг. 31,*а* и *б*. В первой схеме контур гетеродина включен в цепь первой сетки, а катушка обратной связи — в цепь «анода» гетеродина (вторая сетка); сопротивление R_3, включенное в цепь второй сетки, служит для понижения напряжения питания на ней до нужного предела. Значения сопротивлений и емкостей, определяющих режим работы преобразователя, указаны на самой схеме.

Схема фиг. 31,*б* отличается от предыдущей тем, что в ней настроенный контур гетеродина включен в цепь второй (анодной), а не первой сетки. Обе эти схемы примерно равноценны.

В настоящее время гептоды типа 6А8 почти полностью вытеснены гептодами типа 6А7, устройство которых несколько отлично (фиг. 32). Лампа 6А7 не имеет отдельного электрода, играющего роль анода гетеродина. Эту функцию выполняет экранирующая сетке *2*, которая находится под постоянным положительным потенциалом. Для переменных токов высокой частоты она находится под нулевым потенциалом, так как через большую емкость C_2 она соединена с нулевой точкой схемы (заземлена).

При такой конструкции лампы особенно выгодной оказывается трехточечная индуктивная схема гетеродина. Контур гетеродина включается таким образом, что анодный конец его заземляется (фиг. 32), поскольку экранирующая сетка *2*, играющая роль анода гетеродина, также заземлена через емкость C_2. Катод подключается к средней точке катушки контура; точное расположение отвода по отношению к виткам всей катушки подбирается опытным путем. Для получения нормальной и устойчивой работы по всему диапазону обычно приходится выбирать для нижней по схеме части катушки L_3, входящей в цепь катода, $^1/_3$—$^1/_4$ общего числа ее витков. Однако более точно место присоединения отвода находится в процессе налаживания приемника.

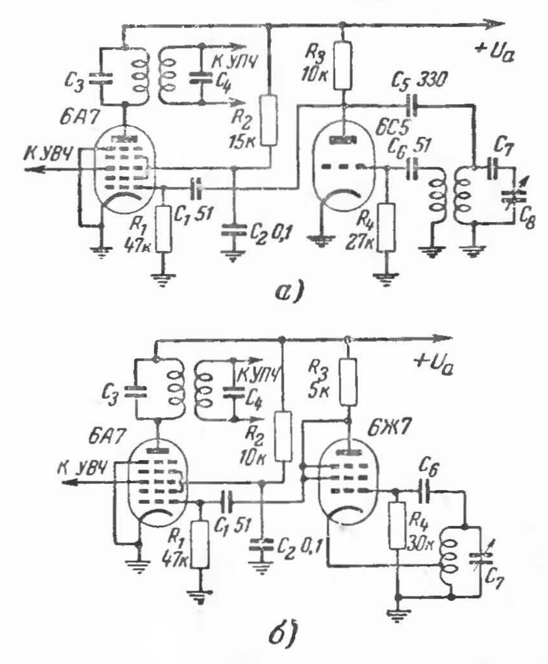


Фиг. 32. Одноламповый преобразователь частоты на лампе 6А7.

Преобразователи на лампах 6А7 работают более устойчиво, чем на лампах 6А8. Это объясняется главным образом тем, что конструкция ламп 6А7 делает работу гетеродинной части менее зависимой от потенциала управляющей сетки; изменения напряжения на этой сетке (например, под действием автоматической регулировки усиления) мало влияют на частоту гетеродина, которая оказывается поэтому более устойчивой. Весьма большое значение в этом же отношении имеет правильный выбор отвода от катушки, т. е. точки подключения катода. В целях обеспечения нормальной работы преобразователя нужно стремиться поддерживать напряжение на контуре гетеродина (а следовательно, и на катоде относительно земли) возможно более постоянным в пределах всего диапазона генерируемых частот. В то же время нужно обрашать внимание на то, чтобы величина напряжения $U_к$ между катодом и землей не была чрезмерно

большой, так как это могло бы вызвать уменьшение усиления при преобразовании. Наиболее выгодная величина напряжения $U_к = 1,5$ $в_{эфф}$. Следует стремиться к тому, чтобы при перестройке гетеродина по диапазону эта величина находилась в пределах от 1 до 3 *в*. Слишком малое напряжение может привести к срыву генерации, а слишком большое — к уменьшению усиления.

Для дальнейшего повышения устойчивости работы преобразовательного каскада в нем применяют лампу 6А7 в качестве смесителя, работающего с отдельным гетеродином.



Фиг. 33. Двухламповый преобразовательный каскад с лампой 6А7 в качестве смесителя с гетеродином на лампе 6С5 (*а*) и с гетеродином на лампе 6Ж7 (*б*).

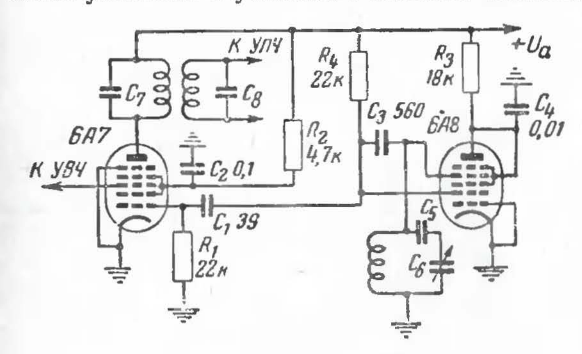
В этом случае можно добиться весьма высокой степени стабильности частоты, так как гетеродин оказывается независимым от смесительной части.

На фиг. 33,*а* приведена схема двухлампового преобразователя на лампах 6А7 и 6С5. Хорошо работает в качестве гетеродина также лампа 6Ж7, включенная триодом

(фиг. 33,*б*). Двухламповые преобразователи применяются обычно в приемниках первого класса.

На фиг. 34 приведена схема преобразовательного каскада с отдельным гетеродином приемника «Латвия». В ней гетеродин собран по транзитронной схеме. Эта схема преобразовательного каскада отличается хорошей устойчивостью частоты.

Напряжение сигнала к смесителю подается в этом приемнике после усиления в усилителе высокой частоты.



Фиг. 34. Двухламповый преобразователь с гетеродином по транзитронной схеме.

В табл. 1 приведены некоторые цифровые данные, характеризующие требования устойчивости частоты гетеродинов. Оценка этого показателя по ГОСТ 5651-51 производится следующим образом: приемник включается и прогревается в течение 5 мин., после чего производится первый замер частоты гетеродина; затем через 10 мин. производится второй замер, по результатам которого и определяется уход частоты гетеродина за это время. Такими двумя замерами и ограничиваются, потому что по прошествии указанного времени частота гетеродина, как правило, изменяется уже незначительно.

Таблица 1

	На частоте, *мгги*		
	от 15 до 20	от 9 до 15	от 6 до 9
Допустимый уход частоты для приемников 1-го класса, *кгц*	4	3	2
То же для приемника 2-го класса, *кгц* . . .	—	6	4

В приемниках с батарейным питанием лампы и детали нагреваются значительно слабее, а поэтому и уход частоты гетеродина бывает у них гораздо меньший, чем у сетевых приемников.

Как показали исследования, сильнее всего на уход частоты гетеродина влияет изменение температуры его лампы во время прогрева. Однако ни в коем случае нельзя пренебрегать влиянием на частоту основных элементов колебательного контура — его катушки и конденсатора. Эти детали должны быть надежной конструкции и располагать их надо на шасси с таким расчетом, чтобы во время работы приемника они возможно меньше нагревались. Изменение температуры этих деталей вызывает изменение их геометрических размеров и изменение их электрических данных, а последнее вызывает изменение частоты гетеродина.

Для компенсации изменения частоты контура иногда параллельно основному конденсатору настройки присоединяют небольшой дополнительный конденсатор, обладающий отрицательным температурным коэффициентом. При нагреве емкость этого конденсатора уменьшается, чем и компенсируется увеличение емкости основного конденсатора.

СОПРЯЖЕНИЕ КОНТУРОВ

Как уже отмечалось на стр. 32, принимаемые сигналы подаются на сетку лампы преобразователя с помощью настроенной системы, применяемой на входе приемника. Такие системы обычно называют преселекторами. Наибольшее распространение в радиовещательных приемниках получили преселекторы, состоящие из одного настроенного контура, связанного тем или иным способом с антенной.

Приступая к приему какой-либо станции, приходится одновременно настраивать два контура: входной и гетеродинный. Входной контур настраивается на частоту сигнала, а гетеродинный — на частоту, отличающуюся от частоты сигнала на выбранную для данного приемника промежуточную частоту.

Входной контур имеет плавную настройку и рассчитан на прием самых различных станций, лежащих в пределах данного диапазона. Очевидно, что при настройке преселектора на любую из этих частот контур гетеродина должен одновременно перестраиваться так, чтобы разность между его частотой и частотой сигнала во всех случаях оставалась неизменной и была равна промежуточной частоте. Для выполнения этого требования оба контура должны быть определенным образом сопряжены между собой.

Практическое осуществление этого условия связано с рядом затруднений, сущность которых излагается ниже.

Границы изменения частоты колебательного контура при настройке его переменной емкостью (или, как обычно говорят, перекрытие по частоте) зависят от пределов изменения этой емкости.

Частота настройки контура выражается формулой

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Если индуктивность контура остается постоянной, а изменяется только его емкость в пределах от $C_{мин}$ до $C_{макс}$, то крайние частоты настройки будут:

$$f_{мин}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{макс}}}$$

и

$$f_{макс}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{мин}}}.$$

Коэффициент перекрытия по частоте

$$k=\frac{f_{макс}}{f_{мин}}=\frac{\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_{мин}}}}{\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_{макс}}}}=\sqrt{\frac{C_{макс}}{C_{мин}}}.$$

Для практических расчетов удобнее выразить эту зависимость несколько иначе, а именно: $\frac{C_{макс}}{C_{мин}}=k^2$, т. е. отношение максимальной к минимальной емкости должно равняться квадрату коэффициента перекрытия. Так, для получения коэффициента перекрытия по частоте, равного трем (например, от 500 до 1 500 *кгц*), нужно емкость изменить в 3^2 раз, т. е. в 9 раз.

Но в супергетеродинном приемнике границы перекрываемого диапазона у входного контура и у контура гетеродина различны. Если промежуточная частота выбрана рав-

ной 465 *кгц*, то для средневолнового диапазона мы получим такие соотношения:

входной контур

$$f_{мин} = 520\ кгц,\ f_{макс} = 1\,600\ кгц,$$

контур гетеродина

$$f_{мин} = 520 + 465 = 985\ кгц,$$

$$f_{макс} = 1\,600 + 465 = 2\,065\ кгц,$$

коэффициент перекрытия входного контура

$$k_{вх} = \frac{1\,600}{520} = 3{,}1,$$

коэффициент перекрытия контура гетеродина

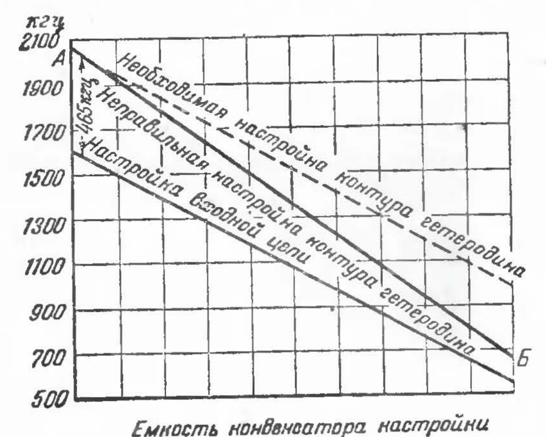
$$k_{гет} = \frac{2\,065}{985} = 2{,}1.$$

Такая разница в перекрытии влечет за собой ряд затруднений. Дело в том, что по производственным и конструктивным соображениям удобнее всего применять для настройки обоих контуров одинаковые переменные конденсаторы, причем для упрощения управления приемников эти конденсаторы насаживаются на общую ось. Но в таком случае в обоих контурах будет одинаковый коэффициент перекрытия. Пусть конденсатор выбран так, что он дает нужное для входного контура перекрытие по частоте (3,1), а для гетеродинного контура взята при этом катушка, обеспечивающая при минимальной емкости конденсатора требуемую частоту 2 065 *кгц*. Тогда при максимальной емкости частота гетеродина уменьшится так же, как и во входном контуре, в 3,1 раза и станет равной $\frac{2065}{3,1} = 666$ *кгц* вместо нужных нам 985 *кгц*. Во всех промежуточных точках частота гетеродина будет отличаться от частоты настройки входного контура также не точно на 465 *кгц*, а на какую-то другую величину. Следовательно, между частотой входного и гетеродинного контуров нужного сопряжения не будет. Точно сопряжены они будут только в одной начальной точке. Графически это можно представить в виде линии *АБ* на фиг. 35.

Чтобы получить требуемые соотношения между частотами настройки обоих контуров, необходимо, очевидно, уменьшить коэффициент перекрытия гетеродинного контура до нужной величины 2,1. В этом случае и в начале, и в конце

диапазона частота гетеродина будет отличаться от частоты входного контура точно на требуемую величину: 465 *кгц*.

Уменьшение перекрытия осуществляется с помощью схем, приведенных на фиг. 36,*а* и *б*. Конденсатор $C_{пар}$, включаемый параллельно катушке или конденсатору настройки, увеличивает начальную емкость контура, и вследствие этого перекрытие уменьшается. Конденсатор $C_{посл}$ предназначается для того, чтобы уменьшить максимальную емкость контура и создать наиболее благоприятный закон изменения частоты по диапазону. Оказывается, что с одинаковыми переменными конденсаторами получить такое сопряжение

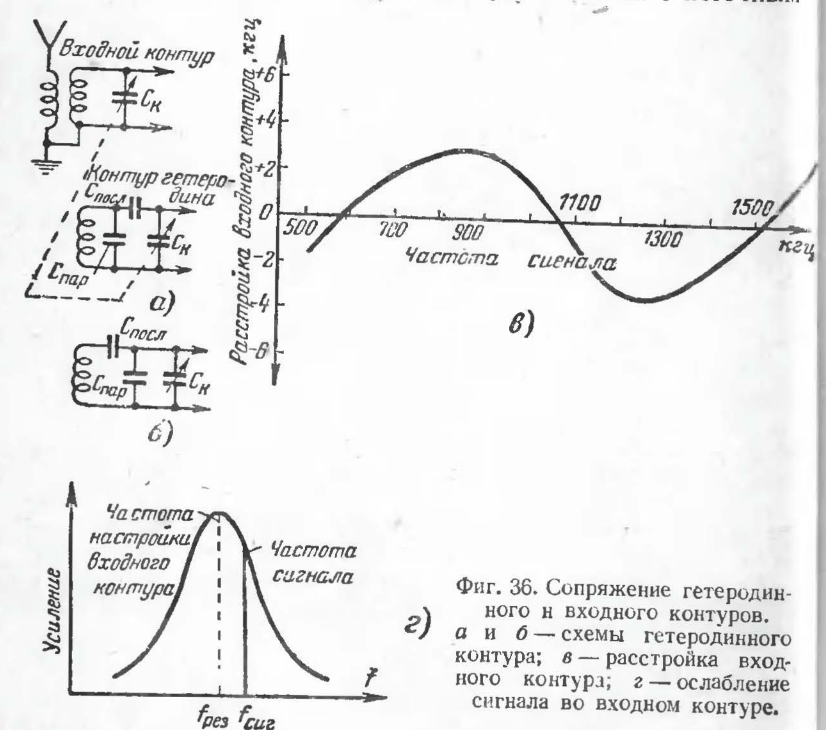


Фиг. 35. Соотношение частот входного контура и контура гетеродина.

между контурами, чтобы частота гетеродина во всех точках диапазона отличалась бы от частоты входного контура точно на промежуточную частоту (в нашем случае на 465 *кгц*), нельзя. Но схемы, приведенные на фиг. 36, дают возможность очень близко подойти к точному решению этой задачи. При правильном расчете элементов этой схемы можно получить совершенно точное сопряжение в трех точках диапазона: в начале, конце и середине его; в остальных точках диапазона частот сопряжение будет несколько нарушаться, но отклонение фактически получаемой частоты от требуемой может быть сделано весьма незначительным.

Приведенная на фиг. 36,*в* кривая графически показывает изменение погрешности сопряжения, получаемое в этом случае. В трех точках — при настройке приемника на частоты 592, 1 060 и 1 528 *кгц* — сопряжение получается точное и

поэтому погрешность равна нулю. В остальных точках погрешность сопряжения возрастает и в определенных участках диапазона достигает ± 3 *кгц*. К чему же это будет приводить? Это будет приводить к тому, что в несопряженных точках, в моменты, когда частота гетеродина $f_{гет}$ будет в точности равняться $f_{сиг} + f_{пр}$ и преобразователь позволит выделить нужную нам промежуточную частоту, входной контур окажется несколько расстроенным по отношению к частоте сигнала (фиг. 36,*г*). Поэтому в точках с неточным



Фиг. 36. Сопряжение гетеродинного и входного контуров. *а* и *б* — схемы гетеродинного контура; *в* — расстройка входного контура; *г* — ослабление сигнала во входном контуре.

сопряжением чувствительность будет несколько ухудшаться, но это ухудшение при указанных выше значениях погрешности сопряжения будет весьма незначительным, так как получающаяся расстройка не будет выходить за пределы полосы пропускания входного контура.

В гетеродинных контурах современных приемников применяются почти исключительно схемы, подобные приведенным на фиг. 36,*а* и *б*. Конденсатор $C_{посл}$ определяет характер изменения частоты гетеродинного контура; он называется обычно сопрягающим конденсатором. На высокочастотном конце диапазона, когда емкость переменного конденсатора $C_к$ мала, сопрягающий конденсатор почти не влияет на общую емкость контура; на низкочастотном конце диапазона, наоборот, роль конденсатора $C_{посл}$ оказывается очень большой.

На диапазонах, где частота гетеродина сильно отличается от частоты сигнала (например, на длинных волнах), значение $C_{посл}$ выбирается небольшим. С уменьшением относительной разницы между этими частотами емкость $C_{посл}$ увеличивается. На средних волнах она будет уже больше, а при весьма небольшой относительной разнице между частотами сигнала и гетеродина (на коротких волнах) часто обходятся вообще без сопрягающего конденсатора и ограничиваются только конденсатором $C_{пар}$, уменьшающим перекрытие по частоте. Тогда при соответствующем выборе индуктивности катушки гетеродина получается точное сопряжение в двух точках — в начале и в конце перекрываемого диапазона. В этом случае при приеме станции гетеродин настраивается точно на нужную частоту, а через входной, несколько расстроенный контур сигнал даже при неточном сопряжении проходит без особого ослабления, так как полоса пропускания этого контура на высоких частотах достаточно широка.

При обычных переменных конденсаторах применяется сопрягающий конденсатор на длинных волнах емкостью 100—250 *пф*, и на средних — емкостью 400—600 *пф*.

Точный расчет значений индуктивности гетеродинного контура и сопрягающих емкостей довольно сложен и отнимает много времени. Приближенный расчет для схемы, приведенной на фиг. 36,*а*, может быть произведен с помощью графиков (фиг. 37а, б, в,).

При расчете этим способом необходимо предварительно определить среднюю частоту поддиапазона $f_{ср} = \frac{f_{макс} - f_{мин}}{2}$ и затем найти вспомогательную величину $n = \frac{f_{пр}}{f_{ср}}$.

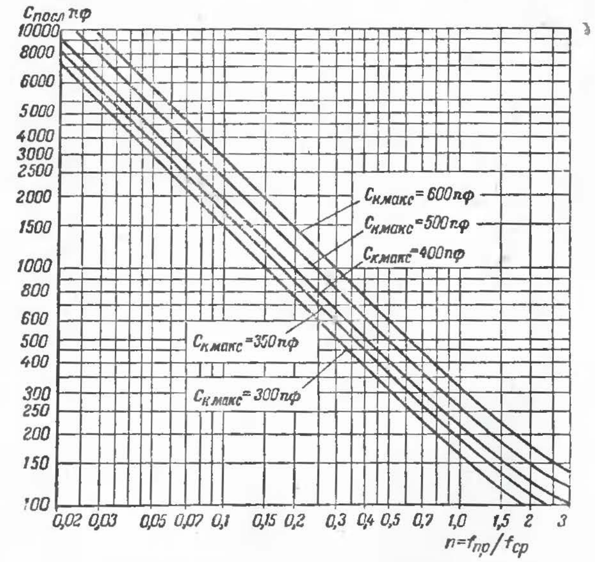
По кривым фиг. 37а определяем величину емкости $C_{посл}$, по кривой фиг. 37б — значение емкости $C_{пар}$ и по кривой фиг. 37в — коэффициент q, с помощью которого определяем значение индуктивности $L_{гет} = qL_{вх}$.

На практике весьма трудно обеспечить изготовление катушек и конденсаторов с точностью, необходимой для хорошего сопряжения контуров. Поэтому задача решается путем

введения в схему подстроечных элементов, как показано на фиг. 38.

Подстроечные конденсаторы $C_п$ небольшой емкости позволяют точно выравнять начальные емкости схемы; подгонка же величины индуктивности катушек обычно производится с помощью подвижных сердечников из высокочастотного железа.

С помощью этих элементов производится подстройка входного контура в крайних точках сопряжения — на низкочастотном и высокочастотном концах поддиапазона. Точная

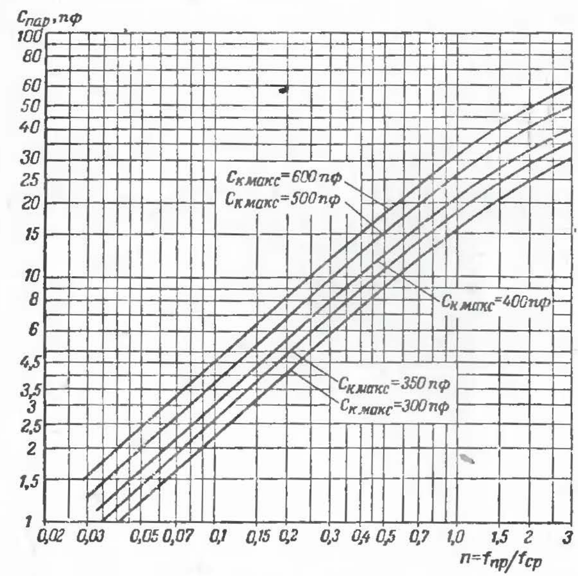


Фиг. 37а. График для расчета сопряжения контуров (расчет емкости $C_{посл}$).

подстройка в начале диапазона при малой емкости основного конденсатора настройки производится посредством подстроечного конденсатора $C_п$; таким способом согласовывается в этой точке настройка обоих контуров — входного и гетеродинного. На низшей частоте поддиапазона точного сопряжения между контурами добиваются путем изменения индуктивности катушки $L_{вх}$ с помощью подвижного сердечника.

При правильном выборе элементов схемы сопряжение в третьей точке — в середине поддиапазона — должно получиться автоматически.

Как уже отмечалось, настройка супергетеродинного приемника на принимаемую станцию определяется главным образом настройкой контура гетеродина, так как нужная промежуточная частота получается только в том случае, если частота гетеродина равна $f_{сиг} + f_{пр}$. Входные контуры оказывают незначительное влияние на избирательность приемника по соседнему каналу, но зато они целиком определяют избирательность приемника по зеркальному каналу, так как эти контуры являются единственной преградой для сигналов зеркальной помехи на их пути от антенны к управ-

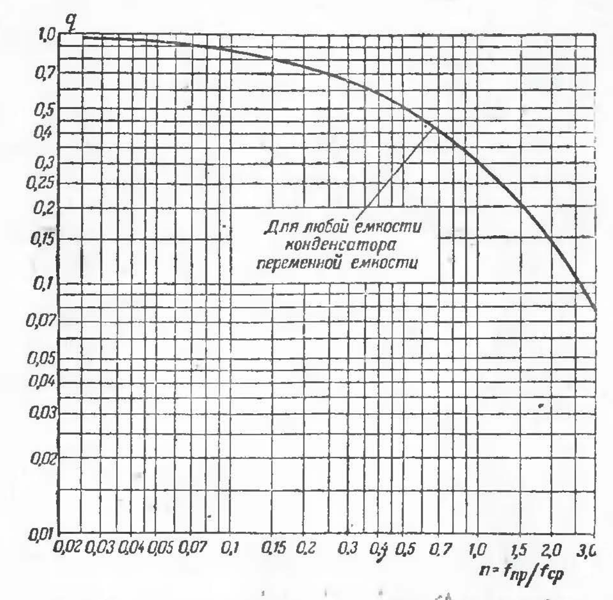


Фиг. 37б. График для расчета сопряжения контуров (расчет емкости $C_{пар}$)

ляющей сетке преобразовательной лампы. Кроме того, входные контуры на длинных (и отчасти на средних) волнах оказывают весьма существенное влияние на частотную характеристику приемника. Ранее, на стр. 9, отмечалось, что боковые полосы принятого модулированного сигнала ослабляются резонансным контуром, через который они проходят. Полоса пропускания колебательного контура тем уже, чем больше его добротность и чем ниже резонансная частота. Это обстоятельство приводит к тому, что на диапазоне длинных волн хороший входной контур может вызвать резкое ухудшение частотной характеристики. Снижать же доброт-

ность этого контура для расширения полосы его пропускания нерационально, потому что это приведет к ухудшению ослабления по зеркальному каналу.

В высококачественных приемниках (1-го класса) с целью устранения упомянутых недостатков применяют на входе приемника не простой одиночный настроенный контур, а двухконтурный полосовой фильтр, позволяющий обеспечить необходимую полосу пропускания. Обычно ограничиваются введением такого фильтра только на одном длинноволновом



Фиг. 37в. График для расчета сопряжения контуров (расчет индуктивности).

или, в крайнем случае, еще и на средневолновом диапазоне. На коротких волнах применение полосового фильтра нерационально, так как полоса пропускания у одиночного контура на этом диапазоне более чем достаточна.

Ранее отмечались трудности создания системы из нескольких плавно настраиваемых по диапазону полосовых фильтров. Осуществление же одного такого полосового фильтра на одном или двух поддиапазонах не вызывает больших трудностей.

В приемниках 1-го, а иногда и 2-го класса схема высокочастотной части, предшествующей преобразовательному каскаду, усложняется введением в нее вместо одного настроенного входного контура еще и лампового каскада усиления высокой частоты, содержащего, как правило, не менее одного дополнительного настроенного контура (обычно в анодной цепи лампы). Схема такого каскада приведена на фиг. 39. Главные преимущества этого варианта схемы сводятся к следующему:

а) увеличение числа контуров, настроенных на частоту сигнала и расположенных между антенным входом и преобразовательным каскадом, улучшает избирательность приемника по зеркальному каналу;

б) наличие каскада усиления высокой частоты улучшает соотношение между сигналом и шумом на выходе приемника, т. е. уменьшает относительный уровень шумов на выходе. Это объясняется тем, что главным источником собственных шумов приемника служит преобразовательная лампа. Чем больше напряжение сигнала, поступающего на вход преобразователя, тем менее ощутимы шумы. Если, наоборот, напряжение сигнала мало, то соотношение между сигналом и шумом оказывается невыгодным; шумы будут сильно ощущаться и могут даже заглушать сигналы или делать их неразборчивыми. Если же поступающий из антенны слабый сигнал сначала усиливается в усилителе высокой частоты и лишь после этого подводится к преобразователю, то этим путем улучшается соотношение напряжения сигнала к уровню шумов.

Фиг. 38. Подстройка элементов колебательного контура.

Фиг. 39. Каскад усиления высокой частоты с двумя настроенными контурами.

Правда, лампа усилителя высокой частоты также создает шумы при усилении, но уровень этих шумов значительно ниже, чем в преобразователе, и потому влияние их практически не ощущается.

УСИЛЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Усилитель промежуточной частоты является весьма важной частью супергетеродинного приемника, так как его работа определяет основные параметры приемника — чувствительность и избирательность.

Рассмотрение работы этого усилителя мы начнем с вопроса о величине промежуточной частоты, правильный выбор которой имеет большое значение для работы приемника. При выборе промежуточной частоты приходится руководствоваться рядом соображений, находящихся иногда во взаимном противоречии. В подобных случаях приходится находить компромиссные решения.

ВЫБОР ЗНАЧЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

С точки зрения усиления, т. е. чувствительности приемника, выгоднее применять низкую промежуточную частоту. Как следует из рассуждений, приведенных на стр. 20, при одной и той же емкости для более низкой частоты можно получить контур с большим резонансным сопротивлением $Z_{ез}$, а следовательно, обеспечить с таким контуром большее усиление каскада. При низкой промежуточной частоте можно осуществить более высокую избирательность по соседнему каналу, потому что чем ниже промежуточная частота по сравнению с частотой сигнала, тем больший получается выигрыш в избирательности по отношению к соседним по частоте станциям. Исходя из этих соображений, более выгодно будет выбирать промежуточную частоту 100 *кгц* и даже ниже.

Однако наряду с указанными выгодами снижение промежуточной частоты приводит к ухудшению избирательности приемника по зеркальному каналу. Пропускание же помех по этому каналу является одним из наиболее серьезных недостатков супергетеродина.

Ранее было уже оговорено, что чем выше промежуточная частота, тем больше ослабляется помеха по зеркальному каналу. По этим соображениям желательно было бы при приеме на коротких волнах применять промежуточную частоту $_{пр}$ выше 1 500 *кгц*.

Поясним сказанное примером. Если, допустим, частота принимаемого сигнала равна 150 *кгц*, а промежуточная частота 110 *кгц*, то опасная частота помехи, равная частоте зеркального канала, будет $f_{зерк} = f_{сиг} + 2f_{пр} = 150 + 220 = 370$ *кгц*. Эта частота в 2,5 раза превышает частоту сигнала, на которую настроен входной контур. При такой относительно большой разнице в частотах контур, естественно, будет сильно ослаблять мешающий сигнал. Однако это условие резко изменится на коротких волнах. Предположим, что принимаемая станция работает на частоте 12 *мггц*. При той же промежуточной частоте частота помехи по зеркальному каналу будет в этом случае равна 12 000 + 220 = 12 220 *кгц*, т. е. будет отличаться от принимаемой менее чем на 2%. Понятно, что при этих условиях входной контур лишь незначительно ослабит помеху и поэтому она практически будет слышна очень сильно. Чтобы ослабить такую помеху, понадобилось бы ввести до преобразователя не один, а несколько контуров, настроенных на частоту сигнала.

Если же для рассмотренного случая выбрать промежуточную частоту 1 500 *кгц*, то частота помехи по зеркальному каналу при приеме той же коротковолновой станции будет равна 12 000 + 3 000 = 15 000 *кгц*. Относительная разница между частотами принимаемой и мешающей станции теперь будет составлять 3 000 *кгц*, т. е. 25%. При этих условиях входной контур будет хорошо подавлять помеху.

К сожалению, при такой высокой промежуточной частоте резко ухудшится избирательность контуров промежуточной частоты по отношению к станциям, мешающим по соседнему каналу, т. е. к станциям, работающим на частоте, близкой к принимаемой.

Чтобы ослабить влияние этих противоречий, в радиовещательных приемниках прибегают обычно к компромиссному решению: выбирают промежуточную частоту выше 110 *кгц*, но ниже 1 500 *кгц*. Но, как будет показано дальше, существует еще одно ограничение: промежуточная частота должна находиться вне пределов принимаемого диапазона. Поэтому, по ГОСТ 5651-51 для радиовещательных приемников установлена промежуточная частота 465 *кгц*.

Сравнивая при приеме радиостанций радиоприемники с разными значениями промежуточной частоты, легко заметить, что у приемников с низкой промежуточной частотой свисты, вызываемые зеркальными помехами, выражены значительно сильнее, чем у приемников с более высокой промежуточной частотой.

На фиг. 40 показано, как ослабляется зеркальная помеха при повышении промежуточной частоты, т. е. как

уменьшается усиление на частоте помехи по сравнению с усилением на частоте принимаемого сигнала.

При перестройке приемника на разные частоты ослабление зеркальной помехи будет меняться даже в пределах одного поддиапазона, так как ширина резонансной кривой антенного контура меняется по диапазону и увеличивается в сторону высокочастотной его части. Поэтому зеркальная помеха всегда лучше ослабляется у низкочастотного конца каждого поддиапазона (при максимальной емкости конденсатора настройки) и хуже у высокочастотного конца его.

Дальнейшим ограничением выбора значения промежуточной частоты является условие, требующее, чтобы эта частота не только не попадала в пределы всего принимаемого диапазона, но и чтобы она лежала достаточно далеко от его границ.

Фиг. 40. Ослабление зеркальной помехи во входном контуре.

В необходимости соблюдения этого условия можно убедиться также путем разбора примера. Предположим, что мы выбрали промежуточную частоту 1 000 *кгц*, а принимаемая станция имеет частоту 1 002 *кгц*. Частота гетеродина в этом случае должна быть $f_{гет} = f_{сиг} + f_{пр} = 1\,002 + 1\,000 = 2\,002$ *кгц*. Из рассмотрения работы преобразователя частоты мы знаем, что в составе анодного тока преобразовательной лампы имеются не только токи промежуточной частоты, но и токи, изменяющиеся с частотой колебаний сигнала и с частотой гетеродина. Следовательно, в нашем случае в анодной цепи лампы будет протекать ток с частотой сигнала 1 002 *кгц*. Контуры усилителя промежуточной частоты нашего приемника согласно условию настроены на частоту 1 000 *кгц*. Но так как полоса пропускания у этих контуров равна нескольким килогерц, то, следовательно, сигнал с частотой 1 002 *кгц* эти контуры будут свободно пропускать. В результате этого усилитель промежуточной частоты будет почти так же хорошо усиливать колебания сигнала, как и колебания промежуточной частоты. При таких обстоятельствах окажется, что преобразователь

и усилитель промежуточной частоты работают одновременно и в качестве усилителя сигнала. Это приведет к тому, что к детектору придет один и тот же модулированный сигнал, но с двумя разными несущими частотами: 1 000 *кгц* (промежуточная частота) и 1 002 *кгц* (частота принятого сигнала). Между колебаниями этих несущих частот возникнут биения, в результате которых после детектора появится напряжение разностной частоты 1 002—1 000=2 *кгц*. Так как частота этих биений находится в области звуковых частот, то они будут прослушиваться в виде свиста высокого тона, непрерывно сопровождающего звуковую передачу.

Из этого примера мы видим, что значение промежуточной частоты нужно выбирать так, чтобы она никак не попадала в пределы принимаемого диапазона и отличалась не менее чем на 25—30 *кгц* от любой из принимаемых частот. Только при этих условиях сигнал будет сильно ослабляться в контурах промежуточной частоты, так как его частота будет существенно отличаться от резонансной частоты этих контуров. И если бы при этих условиях сигнал даже просочился к детектору, то это не причинило бы неприятности, так как возникшие биения имели бы слишком высокую частоту, на которую не реагирует человеческое ухо.

Установленный ГОСТ диапазон длинных и средних волн имеет границы 150—415 и 520—1 600 *кгц*; не используется участок 415—520 *кгц*. Промежуточная частота 465 *кгц* находится почти по середине этого участка и отстоит не менее чем на 50 *кгц* от каждой из его границ. Такая большая разница в частотах устраняет возможность возникновения описанного выше явления.

Промежуточная частота не должна быть близка к принимаемым частотам и по другим соображениям. Если принимаемая частота незначительно отличается от промежуточной, то преобразовательный каскад оказывается для нее, как уже отмечалось, усилителем. Сопротивление контура промежуточной частоты в анодной цепи лампы будет в таком случае весьма велико и для частоты сигнала. В результате окажется, что в цепи сетки и в цепи анода лампы преобразовательного каскада находятся контуры, настроенные на близкие частоты, и поэтому на частоте сигнала может возникнуть самовозбуждение каскада благодаря наличию связи между контурами через междуэлектродную емкость сетка — анод. Эта емкость у преобразовательных ламп больше, чем у высокочастотных пентодов, предназначенных специально для усиления по высокой частоте.

Этим и объясняется то, что при $f_{np} = 460$ *кгц* многие приемники нередко самовозбуждаются при настройке на частоту 420 *кгц*.

Большими неприятностями чревато также проникновение какими-либо путями на сетку преобразовательной лампы сигналов станций, частота которых равна промежуточной (это могут быть либо связные станции, либо гармоники местных радиовещательных станций). Такие сигналы, проникнув в анодную цепь лампы, в дальнейшем не только не отфильтровываются контурами усилителя промежуточной частоты, а наоборот, усиливаются наравне с напряжением полезного сигнала. Происходит это потому, что частота таких сигналов совпадает с резонансной частотой этих контуров.

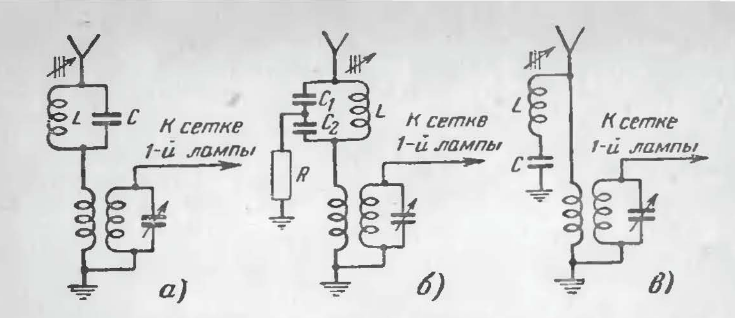
В результате эти усиленные сигналы будут создавать настолько значительные помехи, что прием станет вообще невозможным.

Частота мешающего сигнала не обязательно должна быть точно равна промежуточной. Наоборот, если она отличается от последней даже на 1—2 *кгц*, то и при этих условиях она будет усиливаться еще достаточно хорошо и в результате биений между мешающими и полезными колебаниями после детектирования будет слышен помимо искажений еще и свист, тон которого будет меняться при небольшой расстройке гетеродина.

Для устранения помех такого рода на входе приемника предусматриваются фильтры, настроенные на промежуточную частоту и не пропускающие на вход преобразователя сигналы мешающих станций, имеющих частоту, равную промежуточной.

Применяются такие фильтры двух типов: запирающие и пропускающие. Фильтр первого типа — запирающий, или фильтр-пробка, как его иногда называют, — представляет собой контур, включенный в антенную цепь последовательно и настроенный на промежуточную частоту (фиг. 41,*а*). Такой контур LC оказывает большое сопротивление колебаниям той частоты, на которую он настроен, и не пропускает их. Особенно эффективным задерживающим действием отличается фильтр-пробка LC_1C_2, включенный по схеме фиг. 41,*б*.

Фильтры второго рода (пропускающие) представляют цепь из последовательно соединенных индуктивности L и емкости C, настроенную также на промежуточную частоту (фиг. 41,*в*). Такая цепь обладает ничтожным сопротивле-



Фиг. 41. Схемы фильтров промежуточной частоты на входе приемника.
а и *б* — запирающие фильтры-пробки; *в* — пропускающий фильтр.

нием для резонансной частоты. Включая ее, как показано на фиг. 41,*в*, параллельно входу приемника, мы даем возможность колебаниям с частотой, равной промежуточной, проходить по фильтрующей цепи, минуя вход приемника.

СХЕМА УСИЛИТЕЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Перейдем теперь непосредственно к усилителю промежуточной частоты. В качестве усилительных ламп в таких усилителях в настоящее время используются исключительно высокочастотные пентоды. Эти лампы обладают малой междуэлектродной емкостью сетка — анод и потому позволяют получать большое усиление без опасности возникновения самовозбуждения приемника. О величине усиления, которое дает такая лампа в каскаде, можно судить по крутизне ее характеристики, так как благодаря весьма высокому внутреннему сопротивлению коэффициент усиления каскада в таком случае определяется по упрощенной формуле

$$K = \frac{U_2}{U_1} = SZ_{рез}.$$

Чем больше крутизна характеристики лампы S, тем больше усиление каскада.

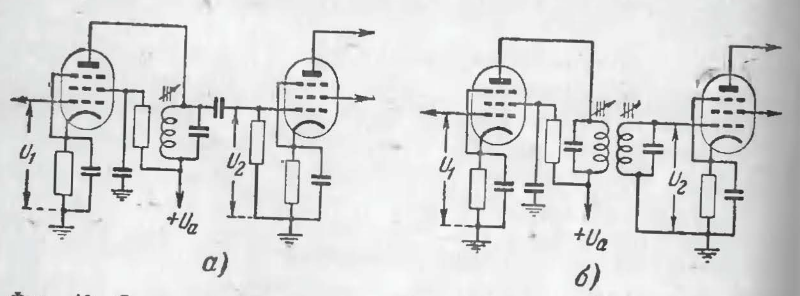
Эта формула верна для случая, когда на сетку лампы следующего каскада напряжение подается непосредственно с резонансного контура, включенного в анодную цепь данной лампы (фиг. 42,*а*).

Если между двумя соседними по схеме лампами применена связь трансформаторная (фиг. 42,*б*), то коэффи-

циент усиления каскада $K = \frac{U_2}{U_1}$ определяется уже иначе: он зависит от конструкции трансформатора промежуточной частоты, степени связи между его контурами.

Для нормальной работы усилителя все входящие в него контуры должны быть точно настроены на промежуточную частоту.

Поскольку каждый колебательный контур состоит из индуктивности и емкости, настройку такого контура на нужную частоту можно производить изменением величины любого из этих элементов. Выбор способа настройки представляет чисто техническую задачу; лучшим оказывается



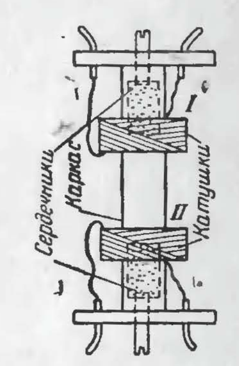
Фиг. 42. Схемы усиления промежуточной частоты с одноконтурным фильтром (*а*) и с двухконтурным фильтром промежуточной частоты (*б*).

тот способ, который позволяет дешевле и проще осуществить удобную и надежную настройку контура. Вначале для этой цели применялись полупеременные слюдяные конденсаторы. Однако крупным их недостатком была нестабильность емкости, которая приводила к произвольной расстройке контура со временем. В настоящее время настройка контуров промежуточной частоты производится почти исключительно с помощью сердечников из высокочастотных магнитных материалов, позволяющих просто и удобно изменять индуктивность катушки. Для этой цели ранее использовались сердечники, состоящие из порошка магнетита, но они отличались недостаточной устойчивостью своих магнитных свойств: со временем их магнитная проницаемость изменялась, а вместе с тем изменялась индуктивность катушки и контур расстраивался. Это приводило к ухудшению чувствительности и избирательности приемника и к добавочным искажениям.

Значительно более высокой стабильностью магнитной проницаемости отличаются сердечники из альсифера и из карбонильного железа, которые в настоящее время находят самое широкое применение для настройки контуров.

Наибольшее распространение получили конструкции трансформаторов промежуточной частоты, у которых катушки обоих контуров расположены так, как показано на фиг. 43.

Качество работы усилителя промежуточной частоты помимо ламп определяется исключительно качеством контуров промежуточной частоты. От выбора схемы включения этих контуров, степени связи между ними и их добротности зависят как чувствительность, так и избирательность приемника.



Фиг. 43. Конструкция трансформатора промежуточной частоты.

ПОЛОСОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ

В современных приемниках применяются исключительно полосовые усилители промежуточной частоты, преимущества которых уже отмечались выше. В таких усилителях обычно используются фильтры или трансформаторы, состоящие из двух связанных между собой контуров, настроенных на промежуточную частоту (фиг. 42,*б*). Многоконтурные фильтры, состоящие более чем из двух контуров, широкого распространения не получили ввиду своей сложности.

О качестве работы двухконтурного фильтра судят по его резонансной характеристике. Форма резонансной характеристики, в свою очередь, определяется добротностью контуров и степенью связи между ними. Типичные виды резонансных характеристик, соответствующих различной степени связи между контурами двухконтурного фильтра промежуточной частоты, приведены на фиг. 44,*а*.

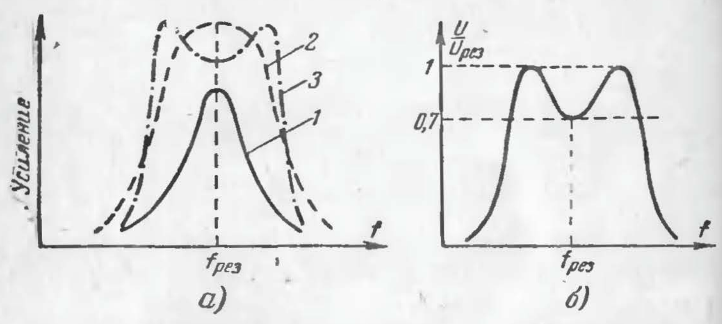
Кривая *1* соответствует слабой связи, усиление при этом невелико, и характеристика по своей форме почти повторяет обычную резонансную характеристику настроенного контура.

Кривая *2* соответствует так называемой критической связи (расстояние между катушками меньше, чем при слабой связи). Усиление при этом достигает наибольшего возможного значения; форма кривой улучшается, вершина ее

несколько приплюснута, а боковые стороны спадают более круто.

Наконец кривая *3* относится к случаю сильной связи между контурами (расстояние между катушками еще меньше), когда в характеристике появляется провал на резонансной частоте и образуются два горба на некотором расстоянии от этой впадины — по обе стороны от нее. Провалы и горбы могут быть выражены в разной степени, в зависимости от коэффициента связи между контурами. По форме эта характеристика может быть максимально приближена к идеальной, т. е. к прямоугольной.

Остановимся несколько подробнее на этом вопросе.



Фиг. 44. Резонансные характеристики при разной степени связи между контурами (*а*) и при максимально допустимой связи (*б*).

Связь между контурами может осуществляться различными способами. Наибольшее распространение получили двухконтурные фильтры с индуктивной связью между их катушками. Коэффициент связи у такого фильтра зависит от расстояния между катушками. При слабой связи лишь незначительная часть энергии переходит из контура, находящегося в первичной цепи, во второй контур. Поэтому усиление получается небольшое. По мере увеличения связи усиление растет и достигает наибольшего значения при некоторой наивыгоднейшей величине связи, которую называют критической связью. В этом случае усиление лампового каскада, имеющего фильтр, состоящий из двух одинаковых контуров, составляет половину от того усиления, которое было бы получено при одном резонансном контуре, т. е.

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{2} SZ_{рез},$$

где $Z_{рез}$ — резонансное сопротивление одного из контуров.

Это объясняется тем, что в каскаде резонансного одноконтурного усилителя колебательная мощность из анодной цепи передается непосредственно в контур, с которого и снимается усиленное напряжение. В каскаде же полосового усилителя колебательная мощность из анодной цепи лампы передается во второй контур через первый контур, в котором при этом часть мощности теряется.

При критической связи колебательная мощность расходуется поровну в обоих контурах, почему и усиление оказывается вдвое меньше.

При еще более сильной связи, превышающей критическую, потери, вносимые вторым контуром в первый, оказываются настолько большими, что общее усиление уменьшается. Этим объясняется провал в характеристике на резонансной частоте. При некоторой расстройке от резонанса баланс энергии улучшается и это приводит к появлению на характеристике горбов, при которых усиление достигает того же значения, как и при критической связи. Чем сильнее связь между контурами, тем глубже впадина в характеристике и тем больше расстояние между горбами.

Максимально допустимой связью принято считать такую, при которой провал доходит до 0,7 максимальной высоты кривой, т. е. уровня полосы пропускания (фиг. 44,*б*). Такая связь дает наивыгоднейшую форму резонансной характеристики с точки зрения избирательности.

При всех степенях связи между контурами избирательность полосового усилителя будет тем лучше, чем больше добротность контуров, так как при этих условиях боковые стороны кривой отличаются более крутыми спадами.

Но применять контуры с очень высокой добротностью, в особенности для радиовещательных приемников, не всегда возможно, так как это приведет к резкому сужению полосы пропускания, а следовательно, и к большим частотным искажениям. Это обстоятельство ставит предел повышению добротности контуров. В некоторых случаях для расширения полосы пропускания приходится даже искусственно ухудшать контуры, шунтируя их сопротивлением.

Таким образом, в конечном счете от полосового усилителя требуется, чтобы форма его характеристики обеспечивала высокую избирательность при одновременном сохранении необходимой полосы пропускания.

Об избирательности и форме резонансной характеристики мы условились судить по коэффициенту прямоугольности (см. стр. 24). Значения этого коэффициента для

полосовых усилителей с одинаковой полосой пропускания и с разным числом двухконтурных фильтров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициента прямоугольности

$$K_П = \frac{\Delta f_{0,1}}{\Delta f_{0,7}}$$

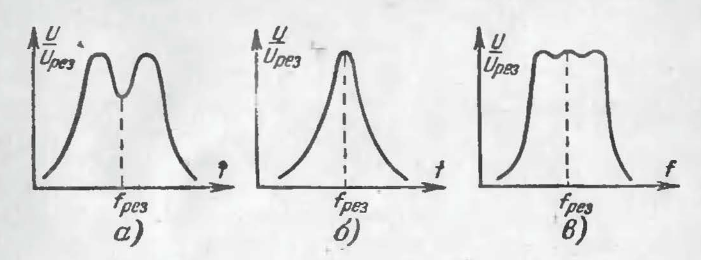
Степень связи между контурами	Характер кривой	Число двухконтурных фильтров		
		1	2	3
Связь слабая		4,1	3,0	2,7
Связь критическая		3,2	2,2	1,95
Связь сильная		2,32	1,67	1,54

Табл. 2 подтверждает, что наилучшую избирательность дают полосовые усилители с сильной связью между контурами. На практике, однако, в большинстве случаев используются все же фильтры с критической связью, обеспечивающие несколько худшую избирательность, но отличающиеся значительно большей простотой настройки, чем фильтры с двугорбой характеристикой.

Для получения контуров с достаточно хорошей добротностью их наматывают не простым одножильным, а многожильным проводом (литцендратом марки ЛЭШО). Хорошие фильтры промежуточной частоты, применяемые в радиовещательных приемниках, имеют добротность $Q = 80—100$ (в экране).

Одним из способов еще большего приближения формы резонансной характеристики усилителя промежуточной частоты к прямоугольной является использование системы из двух сильно связанных контуров в одном каскаде и одиночного контура — во втором. В этом случае характеристика полосового фильтра первого каскада будет иметь форму, изображенную на фиг. 45,*а*. Как видим, она будет иметь большой провал между горбами. Примененный же резонансный контур во втором каскаде имеет высокую добротность и настраивается точно на промежуточную частоту (фиг. 45,*б*). При этих условиях результирующая кривая двух таких каскадов принимает форму, близкую к прямоугольнику (фиг. 45,*в*).

Коэффициент прямоугольности для одной пары таких фильтров равняется 1,54, а при двух парах (четыре каскада) достигает 1,28, т. е. по форме кривая сильно приближается к идеальному прямоугольнику, и поэтому такая си-



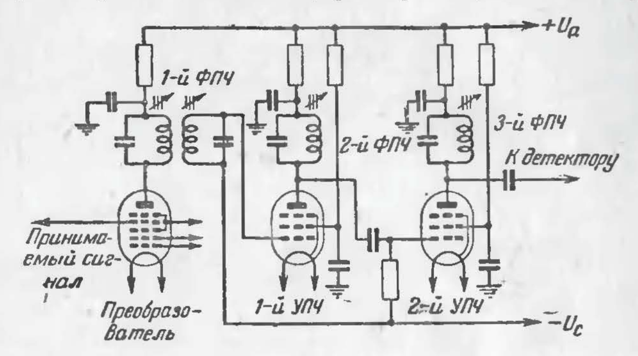
Фиг. 45. Характеристики усилителя промежуточной частоты с разными фильтрами в первом и втором каскадах.

стема фильтров обладает весьма высокой избирательностью при хорошей полосе пропускания. Но настройка и регулировка таких фильтров весьма кропотливы и представляют довольно сложную задачу.

В тех случаях, когда к избирательности предъявляются не очень жесткие требования и в то же время необходимо получить возможно большее усиление с затратой минимального числа деталей, также используют усилитель промежуточной частоты, содержащий как двухконтурные, так и одноконтурные фильтры, но комбинируют их по несколько иному принципу. На фиг. 46 приведена схема усилителя промежуточной частоты приемника «Родина», построенного на основе таких соображений. Второй и третий фильтры представляют собой одиночные резонансные контуры и дают возможность получить значительно большее усиление, чем первый двухконтурный фильтр с критической связью между его контурами. Общая же избирательность усилителя при наличии четырех настроенных контуров, сгруппированных таким образом, удовлетворяет нормам,

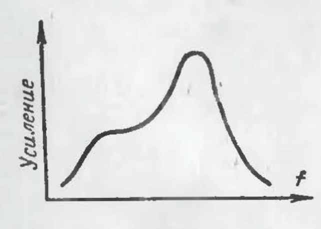
установленным для приемников второго класса. В случае применения во всех каскадах двухконтурных фильтров избирательность, конечно, была бы значительно лучше, но существенно уменьшилась бы чувствительность приемника из-за меньшего усиления по промежуточной частоте.

Если некоторые контуры, входящие в полосовой усилитель промежуточной частоты, расстроены, т. е. настроены



Фиг. 46. Схема усилителя промежуточной частоты приемника „Родина".

не точно на промежуточную частоту, то расстояние между горбами кривой увеличивается. Если к тому же контуры обладают различной добротностью, то общая характеристика усилителя промежуточной частоты деформируется и становится несимметричной (фиг. 47). При такой форме характеристики увеличиваются частотные искажения и возникают заметные нелинейные искажения из-за неодинакового усиления верхней и нижней боковых полос.



Фиг. 47. Несимметричная резонансная характеристика.

Это обстоятельство нужно учитывать не только в процессе налаживания и регулировки приемника, но и при конструировании фильтров промежуточной частоты и при выборе величины емкости контура. Здесь приходится считаться с такими соображениями: чем меньше емкость контура, тем больше его резонансное сопротивление $Z_{рез}$. Следовательно, с точки зрения усиления желательно, чтобы емкость контуров промежуточной частоты была бы как можно меньше. Но в суммарную емкость контура, кроме

емкости самого конденсатора, включенного параллельно катушке, входят также емкость монтажа и емкость $C_{с.к}$ сетка — катод лампы. При смене ламп величина емкости $C_{с.к}$ может в некоторых пределах изменяться. Если общая емкость контура мала, то изменение емкости $C_{с.к}$ при смене ламп может привести к заметной расстройке контура и к связанному с этим искажению формы резонансной характеристики.

Чрезмерно же большая емкость контура приводит к уменьшению $Z_{рез}$, а вместе с тем и к уменьшению усиления.

Поэтому обычно для контура промежуточной частоты выбирают конденсатор, обладающий емкостью средней величины, т. е. 120—180 *пф*; при такой емкости смена ламп почти не влияет на форму резонансной характеристики усилителя промежуточной частоты и в то же время усиление получается достаточно большое.

В многокаскадных усилителях промежуточной частоты, обладающих большим запасом усиления, часто в последних их каскадах применяют контуры с большими емкостями, порядка 300 *пф*. При такой емкости контура характеристика оказывается более устойчивой в процессе эксплуатации. Это играет большую роль в высококачественном приемнике, так как уменьшается опасность возрастания частотных искажений при смене ламп.

Наибольшее влияние на деформацию резонансной характеристики оказывает последний контур, нагруженный диодным детектором. Снижение добротности этого контура из-за потерь, вносимых диодом, может служить причиной ухудшения формы характеристики, в особенности, если контуры последнего фильтра будут несколько расстроены.

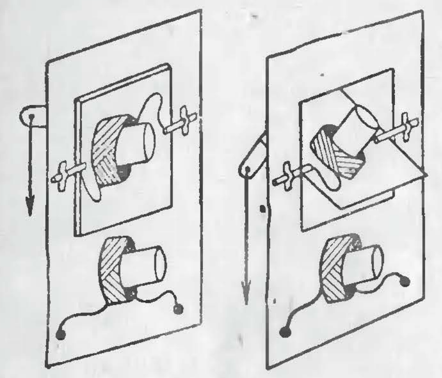
РЕГУЛИРОВКА ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

Одним из усовершенствований, вводимых в супергетеродинные приемники, служит регулировка полосы пропускания по промежуточной частоте. Это мероприятие позволяет более гибко использовать возможности приемника. При приеме слабых сигналов или при наличии высокого уровня помех желательно, чтобы приемник обладал наибольшей избирательностью и узкой полосой пропускания, даже в ущерб качеству воспроизведения, так как при узкой полосе пропускания можно лучше выделить полезный сигнал и уменьшить помехи, сопровождающие прием.

Но при других условиях, например при приеме сильных сигналов и вообще, когда помех нет или они слабо проявляются, качество воспроизведения радиопередачи тем же приемником можно заметно повысить, расширив его полосу пропускания.

Имея возможность регулировать по желанию избирательность усилителя промежуточной частоты, можно устанавливать в каждом отдельном случае наиболее выгодные условия приема.

Регулировка полосы пропускания осуществляется изменением степени связи между контурами в одном или нескольких фильтрах промежуточной частоты. Для этой цели практически применяется два нижеследующих способа.



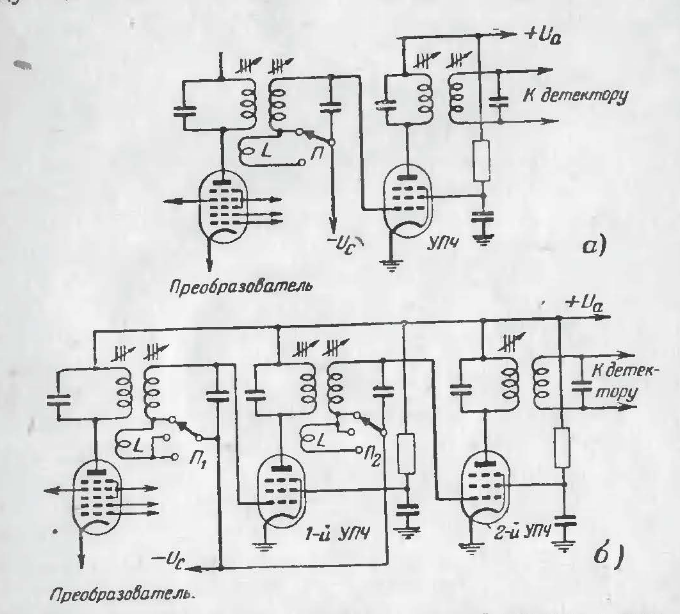
Фиг. 48. Конструкция трансформатора промежуточной частоты с плавной регулировкой степени связи между контурами.

1. Изменение положения катушек. Катушка одного из контуров делается подвижной, и ее положение относительно второй катушки изменяется с помощью механической системы. Для этого используются либо система рычагов, либо шнуровая тяга. Конструктивное выполнение таких фильтров промежуточной частоты довольно сложно; преимуществом их является возможность плавной регулировки степени связи, а также то, что при изменении связи симметрия кривой не нарушается.

Одна из возможных конструкций такого рода показана на фиг. 48.

2. Применение дополнительной катушки связи. В этом случае катушки обоих контуров неподвижны; связь между ними постоянная и увеличение ее осуществляется путем включения последовательно в один из контуров дополнительной небольшой катушки *L*, состоящей из одного-двух витков, сильно связанных со вторым контуром (фиг. 49,*а*). Включение и выключение этой катушки производятся переключателем *П*. Поэтому данный способ регулировки связи не требует введения в конструкцию фильтра промежуточной частоты каких бы то ни было механических систем для передвижения катушки.

Чтобы получить три разных предела ширины полосы пропускания, можно применить регулировку связи не в одном, а в двух фильтрах промежуточной частоты, как это показано на фиг. 49,*б*. Такая регулировка обеспечивает три следующих положения:



Фиг. 49. Схемы усилителя промежуточной частоты с переменной полосой пропускания на два предела (*а*) и на три предела (*б*) для полосы пропускания.

узкая полоса — добавочные катушки связи не включены;

средняя полоса — включена добавочная катушка связи в одном фильтре промежуточной частоты;

широкая полоса — включены добавочные катушки связи в обоих фильтрах промежуточной частоты.

Известным недостатком этого способа регулировки является то, что происходит расстройка, правда незначительная, одного из контуров, что ведет к нарушению симметричности резонансной характеристики при одном из положений переключателя — обычно при более сильной связи. Нередко регулировку полосы пропускания по промежуточной частоте

объединяют с регулировкой частотной характеристики усилителя низкой частоты. Это позволяет вращением одной ручки одновременно с сужением полосы усилителя промежуточной частоты срезать также высокие частоты в усилителе низкой частоты и, наоборот, при расширении полосы расширяет частотную характеристику усилителя низкой частоты в области высших звуковых частот. Такая спаренная регулировка дает более эффективные результаты.

Глава четвертая

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

В процессе детектирования в приемнике прямого усиления происходит выделение напряжения звуковой частоты из усиленного в предыдущих каскадах модулированного напряжения высокой частоты. В супергетеродине же к детектору подводится не усиленное напряжение принятого сигнала, а напряжение промежуточной частоты, в которое преобразуется напряжение сигнала. От детектора требуется, чтобы, выполняя свои функции, он не вносил искажений, т. е. чтобы напряжение звуковой частоты, полученное после детектирования, возможно более точно воспроизводило форму модулирующих колебаний.

Из всех схем ламповых детекторов наилучшие результаты в этом отношении дает схема диодного детектирования при условии, что подводимое к диоду напряжение достаточно велико. Схемы сеточного и анодного детектирования в супергетеродинных приемниках не применяются вследствие ряда присущих им недостатков.

Сеточный детектор, отличающийся высокой чувствительностью, обладает тем серьезным недостатком, что вносит большие искажения, причем величина их пропорциональна глубине модуляции. Коэффициент нелинейных искажений при детектировании малых амплитуд составляет $^1/_4$ от коэффициента модуляции m. При средней глубине модуляции в 30% нелинейные искажения в сеточном детекторе составят уже $^1/_4 \cdot 30\% = 7{,}5\%$, а при глубине модуляции 100% искажения доходят до совершенно недопустимой величины: 25%.

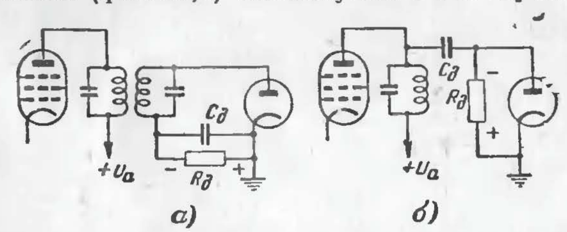
Возможно, правда, создать специальную схему для сеточного детектирования больших амплитуд, но в этом случае сводится на нет основное преимущество этого детектора — высокая чувствительность.

Анодный детектор вносит примерно такие же искажения, как и сеточный, но он обладает низкой чувствительностью.

Поскольку в супергетеродинном приемнике получение большого усиления сигнала до детектора не представляет затруднений и поэтому на выходе усилителя промежуточной частоты легко можно получить напряжение, вполне достаточное для хорошей работы диодного детектора, этот вид детектирования получил наиболее широкое применение в названных приемниках.

При напряжении сигнала 1 *в* и более нелинейные искажения в диодном детекторе очень малы и практически их можно не учитывать.

Применяются две схемы диодного детектирования: с последовательным и с параллельным включением нагрузки. Первая схема (фиг. 50,*а*) используется в тех случаях, когда



Фиг. 50. Схемы диодного детектирования с последовательным (*а*) и с параллельным (*б*) включением нагрузки.

диод может быть подключен непосредственно к колебательному контуру, с которого снимается напряжение промежуточной частоты. Второй схемой (фиг. 50,*б*) пользуются, когда диод почему-либо нельзя присоединить непосредственно к контуру — например, если последний находится под анодным напряжением. По качеству детектирования обе эти схемы равноценны.

Рассматривая схемы фиг. 50, мы замечаем, что в обоих случаях детектор и его нагрузка шунтируют колебательный контур. Это, естественно, влечет за собой увеличение потерь в контуре и ухудшение его добротности. Существуют простые формулы для расчета шунтирующего действия диодного детектора. При последовательной схеме (фиг. 50,*а*) эквивалентная величина сопротивления $R'_{экв}$, шунтирующего контур, равна

$$R'_{экв} = \frac{1}{2} R_д.$$

При параллельной схеме (фиг. 50,*б*) эквивалентное сопротивление $R''_{экв}$ равно

$$R''_{экв} = \frac{1}{3} R_д .$$

Вторая схема менее выгодна, так как из-за большего шунтирующего действия $R_{экв}$ добротность контура снижается больше, чем у первой схемы.

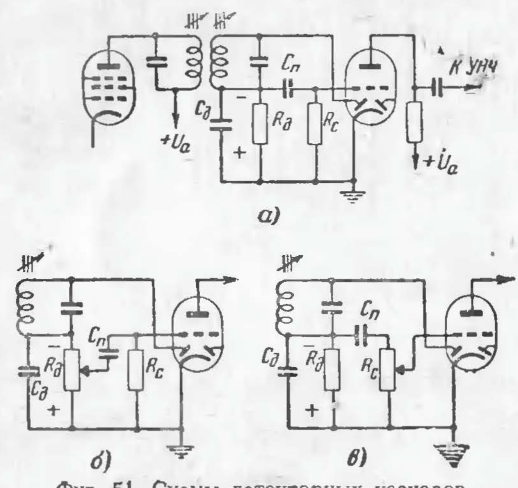
Из приведенных формул следует, что в обоих случаях потери, вносимые в контур детектором, будут тем меньше, чем больше сопротивление нагрузки детектора $R_д$. Однако чрезмерное увеличение сопротивления $R_д$ приводит к другим неприятным последствиям: при глубокой модуляции возникают нелинейные искажения на высших звуковых частотах. Поэтому величину $R_д$ выбирают обычно в пределах от 0,2 до 0,5 *мгом*.

Для диодного детектирования можно воспользоваться либо специальным высокочастотным двойным диодом 6Х6С, либо комбинированной лампой типа двойной диод-триод (6Г7 или 6Г2) или двойной диод-пентод (6Б8С). В серии пальчиковых ламп для этой цели выпускается батарейный диод-пентод 1Б1П и подогревный — 6Б2П.

В современных радиовещательных приемниках в основном применяются перечисленные выше комбинированные лампы; двойные диоды типа 6Х6С применяются значительно реже, лишь в тех случаях, когда схема требует, чтобы диод имел отдельный катод или чтобы катоды обоих диодов были разделены.

Простейшая схема диодного детектора приведена на фиг. 51,*а*. Напряжение со второго контура последнего фильтра промежуточной частоты подается на анод детекторного диода; на нагрузке $R_д$ выделяется выпрямленное напряжение. Если сигнал не модулирован, на сопротивлении $R_д$ образуется постоянное напряжение, знаки которого располагаются так, как указано на чертеже. Если к детектору подводятся модулированные колебания, в выпрямленном напряжении будет содержаться постоянная слагающая, пропорциональная напряжению несущей частоты, и слагающая переменного напряжения звуковой частоты, пропорциональная как напряжению сигнала (т. е. несущей частоты), так и глубине модуляции *m*. Чем больше напряжение на выходе усилителя промежуточной частоты и чем глубже модуляция, тем большее напряжение звуковой частоты будет выделяться на нагрузке детектора.

Это напряжение звуковой частоты подается далее через переходной конденсатор $C_п$ емкостью в 5 000—10 000 *пф* на сетку триодной части лампы, которая выполняет роль первого каскада усилителя низкой частоты. Для того чтобы громкость на выходе приемника можно было регулировать в желательных пределах, в качестве нагрузки детектора можно применять переменное сопротивление, включаемое потенциометром (фиг. 51,*б*). Передвижением ползунка этого потенциометра можно будет изменять величину напряжения, подаваемого на сетку лампы, а вместе с этим и громкость передачи.

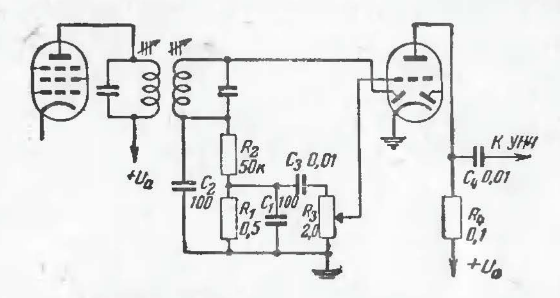


Фиг. 51. Схемы детекторных каскадов.

В обеих рассматриваемых схемах сетка лампы соединена с нагрузкой детектора через переходной конденсатор $C_п$, наличие которого обязательно. При непосредственном соединении на сетку вместе с напряжением звуковой частоты попадало бы также и отрицательное смещение за счет постоянной слагающей выпрямленного напряжения. Величина этого напряжения смещения изменялась бы с изменениями напряжения сигнала, и это приводило бы к перемещению рабочей точки на характеристике усилительной лампы и, следовательно, к появлению значительных нелинейных искажений при приеме сильных сигналов, когда отрицательное смещение возрастает. Конденсатор $C_п$, отделяющий гальванически сетку от нагрузки детектора, пропускает лишь напряжение звуковой частоты и не пропускает к сетке

постоянное напряжение. Благодаря этому на характеристике лампы устанавливается в определенном месте рабочая точка: местоположение этой точки зависит только от величины смещения, поступающего на сетку лампы через сопротивление утечки R_c, и не зависит от силы сигнала. Поэтому подбором величины смещения рабочую точку можно точно переместить на прямолинейный участок характеристики.

Наилучшие результаты дает схема фиг. 51,*в*, в которой регулятор громкости R_c включен не непосредственно в цепь



Фиг. 52. Схема диодного детектора с дополнительным фильтром.

диода, а присоединен через емкость C_n параллельно нагрузке $R_д$ детектора. В этом случае через сопротивление R_c проходит только переменное напряжение звуковой частоты, постоянная же слагающая в него не поступает. Благодаря этому переменное сопротивление находится в более благоприятных рабочих условиях и при перемещении его движка создается меньше шорохов и тресков.

Нередко схему детектора несколько усложняют введением добавочного сопротивления R_2, включаемого последовательно с основной нагрузкой R_1, и конденсатора C_2 (фиг. 52). Фильтр, образованный этими двумя дополнительными деталями, помогает лучше отфильтровать от напряжения, идущего на сетку лампы, следы высокочастотного напряжения. Высокочастотная слагающая в этой схеме проходит через конденсатор C_2, сопротивление которого для этой частоты значительно меньше, чем сопротивление R_2. Для напряжения же звуковой частоты конденсатор C_2 представляет большое сопротивление и практически он не шунтирует нагрузку на этих частотах. Обычно емкость C_2 выбирается равной 50—100 *пф*, а сопротивление $R_2 = 20 \div$

50 *ком*, т. е. составляет около 0,1 величины сопротивления основной нагрузки R_1.

Так, если $C_2 = 100$ *пф*, $R_2 = 50$ *ком* и $f_{пр} = 465$ *кгц*, то сопротивление конденсатора C_2 на этой частоте будет:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f_{пр} C} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} \approx 3\,000 \text{ ом},$$

т. е. в 16 раз меньше, чем R_2. Естественно, что это дает хорошую фильтрацию от напряжения промежуточной частоты.

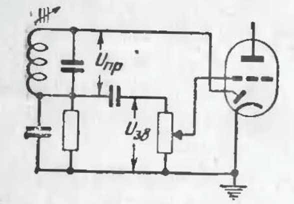
Схема фиг. 52 ценна тем, что она предохраняет лампы усилителя низкой частоты от напряжения промежуточной частоты: если это напряжение просочится на сетки ламп усилителя низкой частоты, то оно может вызвать перегрузку этих ламп и способствовать самовозбуждению приемника и возникновению паразитной генерации в усилителе промежуточной частоты.

Для неискаженной работы диодного детектора нужно правильно выбрать все элементы его схемы. Одним из условий отсутствия нелинейных искажений при глубокой модуляции является то, что величина сопротивления нагрузки диода для звуковых частот должна оставаться такой же, как и для постоянного тока, т. е. $\frac{R_{д\sim}}{R_{д=}} = 1$. В действительности же этого не бывает.

В схемах, приведенных на фиг. 51, параллельно сопротивлению $R_д$ нагрузки диода оказывается включенным через емкость C_n сопротивление R_c утечки сетки первой лампы усилителя низкой частоты. Поскольку емкость C_n берется достаточно большой, ее сопротивлением на звуковых частотах можно пренебречь, и тогда оказывается, что сопротивление $R_д$ шунтировано сопротивлением R_c. Таким образом, для постоянного тока нагрузка детектора $R_{д=}$ равна, а для переменного тока звуковой частоты эквивалентное сопротивление нагрузки будет равно $R_{д\sim} = \frac{R_д R_c}{R_д + R_c}$. Эта величина всегда будет меньше $R_д$, т. е. отношение $\frac{R_{д\sim}}{R_{д=}} < 1$. Для того чтобы это отношение было как можно ближе к единице, т. е. к идеальному случаю, нужно, чтобы R_c было во много раз больше $R_д$. Желательно, чтобы R_c

было в 8—10 раз больше $R_д$. Но тогда, если $R_д = 1$ *мгом*, то R_c должно быть равно 8—10 *мгом*. Включение в цепь управляющей сетки такого большого сопротивления по ряду соображений крайне нежелательно. Обычно величину R_c ограничивают 2—3 *мгом*.

Учитывая сказанное выше, приходится одновременно уменьшать и величину $R_д$ с таким расчетом, чтобы R_c не шунтировало в заметной степени нагрузку диода. По этим соображениям приведенные выше значения были выбраны в пределах 0,2—0,5 *мгом*. Как уже отмечалось на стр. 82, чрезмерно большая величина $R_д$ приведет к нелинейным искажениям при глубокой модуляции.



Фиг. 53. Схема диодного детектора.

Детекторный каскад с диодом, естественно, никакого усиления не дает. Наоборот, из-за наличия неизбежных потерь в нем он может привести даже к некоторому ослаблению колебаний. С достаточной степенью точности можно считать, что эффективность детектора или, как принято говорить, его коэффициент передачи при правильном выборе элементов схемы достигает примерно 0,9. Это значит, что при детектировании сигнала со 100%-ной модуляцией ($m = 1$) напряжение звуковой частоты на нагрузке детектора будет $U_{зв} = 0{,}9U^{*}_{пр}$ (фиг. 53). При меньшей глубине модуляции m это напряжение уменьшается. В общем виде $U_{зв} = 0{,}9\,mU_{пр}$.

Так, если к детектору подводится напряжение с амплитудой несущей частоты 1,5 *в*, модулированное с глубиной $m = 0{,}3$, то на сетку усилителя низкой частоты поступит напряжение

$$U_{зв} = 0{,}9 \cdot 0{,}3 \cdot 1{,}5 \approx 0{,}4 \ в.$$

Если нагрузка детектора включена так, как показано на фиг. 52, и $R_2 = 0{,}1R_д$, то снимаемое низкочастотное напряжение еще несколько уменьшится, так как 0,1 часть этого напряжения будет поглощаться сопротивлением R_2.

* Здесь $U_{пр}$ — амплитуда напряжения промежуточной частоты, подводимого к детектору.

Если приемник обладает большим запасом усиления, то выгодно увеличивать значение R_2 по следующим соображениям.

1. При увеличении R_2 улучшается фильтрация выпрямленного напряжения (см. стр. 84).

2. С увеличением R_2 возрастает общее сопротивление нагрузки детектора, а следовательно, уменьшается шунтирующее действие детектора на колебательный контур.

3. Увеличение R_2 уменьшает опасность возникновения нелинейных искажений при глубокой модуляции, поскольку при этом становится более выгодным соотношение между $R_{д\sim}$ и $R_{д-}$, так как сопротивление R_c утечки сетки следующей за диодом лампы шунтирует лишь часть всей нагрузки детектора.

Недостатком, вытекающим из увеличения сопротивления R_2, является уменьшение чувствительности приемника в $\frac{R_д}{R_2 + R_д}$ раз, так как с детектора снимается лишь часть выделяющегося на нем напряжения звуковой частоты. В приемниках, обладающих достаточным запасом чувствительности, нередко применяют фильтрующее сопротивление, близкое по величине к $R_д$; это ведет к уменьшению чувствительности в 2 раза.

Роль диодного детектора в супергетеродинном приемнике не ограничивается выделением из усиленного сигнала напряжения звуковой частоты. Он используется, кроме того, и для осуществления автоматической регулировки усиления, описываемой ниже, в гл. 5.

Глава пятая

АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

Кроме основных элементов схемы, которые нужны для приема сигналов станции и выделения из них напряжения звуковой частоты, в радиоприемнике имеется обычно ряд вспомогательных элементов, позволяющих производить дополнительные регулировки для улучшения качества приема. Эти регулировки бывают либо ручные, либо автоматические.

К числу ручных регулировок принадлежат регулировка громкости и регулировка тембра звучания, т. е. регулировка формы частотной характеристики. Оба эти вида регу-

лировок относятся к усилителю низкой частоты. В приемниках более высокого класса встречается еще одна ручная регулировка — полосы пропускания, сущность которой описана выше, на стр. 77.

Из автоматических регулировок наиболее важной является регулировка усиления (АРУ). Необходимость такой регулировки обусловливается требованиями, предъявляемыми к современному радиовещательному приемнику, а именно: он должен одинаково хорошо принимать сигналы как мощных или местных, так и маломощных или очень удаленных радиостанций. Сигналы разных станций, понятно, создают на входе приемника различные уровни напряжения, а это значит, что и громкость на выходе приемника будет также самой различной. Например, если мы отрегулируем приемник так, чтобы маломощная или очень удаленная станция, создающая на входе слабый сигнал, была слышна с нормальной громкостью, то тогда при настройке того же приемника на местную станцию передача последней будет слышна оглушительно громко и почти наверняка прием будет сопровождаться сильными искажениями из-за перегрузки отдельных элементов приемника.

Если, наоборот, приемник отрегулировать так, что он будет воспроизводить передачу местной станции с нормальной громкостью, то слабые сигналы удаленной станции будут слышны очень плохо.

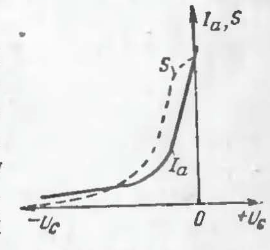
Чтобы избежать этого недостатка, в схему приемника вводят устройство, автоматически регулирующее общее усиление до детектора по высокой и промежуточной частоте таким образом, что при приеме слабых сигналов усиление увеличивается, а при приеме мощных сигналов, наоборот, оно уменьшается. Эта регулировка должна осуществляться так, чтобы независимо от силы принимаемого сигнала напряжение звуковой частоты на выходе приемника оставалось всегда примерно одинаковым. Тогда разные станции, как близкие, так и удаленные, будут приниматься с одинаковой громкостью.

Необходимо отметить, что ручная регулировка громкости, применяемая в усилителе низкой частоты, не может заменить упомянутой выше автоматической регулировки. С помощью ручного регулятора можно регулировать громкость на выходе приемника за счет уменьшения или увеличения напряжения звуковой частоты, подводимого к сетке первой лампы усилителя низкой частоты; но ручной регулятор громкости не оказывает никакого влияния на усиление, даваемое высокочастотной частью приемника, и потому чрезмерно сильные сигналы местных станций независимо от громкости звучания воспроизводимой передачи будут создавать перегрузку ламп высокочастотных каскадов, в результате чего неизбежно возникнут искажения приема.

Роль автоматической регулировки усиления особенно велика при приеме на средних и коротких волнах. На этих диапазонах, главным образом на коротковолновом, наблюдается так называемое явление замирания, т. е. периодического ослабления силы сигнала на входе. Это происходит вследствие особенностей распространения средних и коротких радиоволн. Хорошо действующая система АРУ почти полностью устраняет влияние этого явления на устойчивость приема. Без АРУ прием на коротких волнах становится практически невозможным из-за резких и очень частых колебаний слышимости вплоть до полного прекращения приема. Поэтому для радиовещательных целей приемники без АРУ вообще непригодны.

СХЕМА ПРОСТОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

Автоматическая регулировка усиления осуществляется обычно путем подачи отрицательного смещения на управляющие сетки ламп каскадов усиления высокой и промежуточной частоты, а также преобразователей частоты. С увеличением отрицательного смещения усиление этих ламп уменьшается. Для того чтобы регулировка усиления осуществлялась хорошо, регулируемые лампы должны имет удлиненную характеристику (фиг. 54). Из наиболее распространенных типов высокочастотных ламп такой характеристикой обладают лампы 6К7, 6К3, 2К2М, 1К1П, 6К1П.



Фиг. 54. Удлиненная характеристика лампы.

Чем больше отрицательное смещение, тем меньше становится крутизна характеристики, а следовательно, и усиление каскада, которое пропорционально крутизне. На фиг. 54 изображена пунктиром кривая, показывающая, как изменяется крутизна характеристики лампы с увеличением отрицательного смещения на ее управляющей сетке. Лампы с удлиненной характеристикой отличаются тем, что у них крутизна изме-

няется плавно и в широких пределах; это позволяет так же плавно и в тех же пределах изменять усиление.

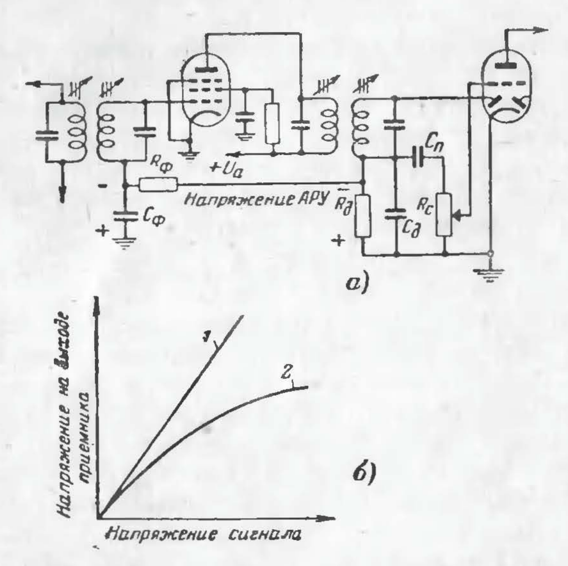
Для обеспечения постоянства выходного напряжения нужно подавать на сетки регулируемых ламп тем большее отрицательное смещение, чем сильнее принимаемый сигнал. Характеристика упомянутых выше ламп отличается от характеристики обычных ламп тем, что первая имеет очень вытянутую (длинную) нижнюю часть. Поэтому и лампы, обладающие такими характеристиками, называются лампами с удлиненными характеристиками. Благодаря этой особенности даже при самом сильном сигнале на входе названные лампы не вносят нелинейных искажений, если одновременно на их сетку подается большое отрицательное смещение.

Источником управляющего усилением напряжения, или, как его обычно называют, напряжения АРУ, в простейшем случае может служить детекторный каскад с диодным детектором. Действительно, на нагрузке диодного детектора, как мы видели, создается выпрямленное напряжение. Рассмотрим этот вопрос несколько подробнее.

Если к детектору подводится немодулированное напряжение промежуточной (или высокой) частоты, то на нагрузке появится постоянное напряжение, величина которого будет пропорциональна амплитуде подводимого напряжения. Полярность этого постоянного напряжения вполне определенная (см. фиг. 50). Если к детектору подводится модулированное напряжение, то величина выпрямленного напряжения на нагрузке будет изменяться с частотой модуляции и пропорционально глубине ее. Таким образом, результирующее напряжение на нагрузке детектора можно рассматривать как состоящее из двух составляющих: из постоянной составляющей, пропорциональной амплитуде напряжения несущей (в нашем случае промежуточной) частоты, и из переменной составляющей звуковой частоты, пропорциональной глубине модуляции.

Выше при рассмотрении работы детекторного каскада нас интересовала только составляющая звуковой частоты, которая использовалась для создания звуковой передачи на выходе приемника.

Для целей же автоматической регулировки усиления используется постоянная составляющая, которая обладает требуемым свойством — пропорциональностью силе колебаний несущей частоты, или, что то же самое, пропорциональностью силе сигнала. Это напряжение мы можем использовать, как показано на фиг. 55,*a*, для регулировки усиления, подавая его «минусом» на сетки ламп усилителей высокой и промежуточной частоты. Для простоты на фиг. 55,*a* показана лишь одна регулируемая лампа, но точно таким же образом напряжение АРУ может быть подано и на остальные лампы. Катод этой лампы заземлен так же, как и катод детекторного диода. Поэтому напряжение, образующееся на нагрузке $R_д$ детектора, будет служить отрицательным смещением для регулируемой лампы.



Фиг. 55. Автоматическая регулировка усиления.

Сопротивление $R_ф$, через которое подается напряжение АРУ, образует вместе с конденсатором $C_ф$ фильтр, не пропускающий в цепь сетки регулируемой лампы составляющую напряжения звуковой частоты, не нужную для АРУ. Наличие этого фильтра совершенно необходимо, так как без него добавочное смещение на сетках регулируемых ламп будет изменяться (так же как и на нагрузке детектора) со звуковой частотой. Это может привести к самым нежелательным последствиям, а именно: к уменьшению глубины модуляции сигнала и к возникновению частотных искажений. Кроме того, имеющаяся на нагрузке детектора хотя и небольшая составляющая напряжения высокой (у нас промежуточной) частоты, попадая на сетки первых ламп,

также может послужить причиной самовозбуждения приемника.

Значения емкости конденсатора $C_ф$ и сопротивления $R_ф$ выбираются таким образом, чтобы напряжение на $C_ф$, которое, собственно, и подается на сетки регулируемых ламп, не могло быстро изменяться и во всяком случае не могло изменяться с звуковой частотой. Это зависит от так называемой постоянной времени фильтра τ, которая характеризует время, необходимое для заряда или разряда конденсатора $C_ф$ через сопротивление $R_ф$.

Постоянная времени представляет произведение из емкости C (в фарадах) на сопротивление R (в омах), т. е. $\tau = C_ф R_ф$, и выражается в секундах. Чтобы напряжение АРУ не изменялось с частотой модуляции, нужно, чтобы постоянная времени была больше, чем период самой низкой модулирующей частоты. Из этих соображений величина τ выбирается обычно для фильтра $R_ф C_ф$ равной 0,05—0,2 сек.

Так, если $R_ф$ равно 1 *мгом*, а $C_ф$ — около 0,1 *мкф*, то постоянная времени для такого сочетания будет $\tau = 10^6$ *ом* $\times 10^{-7}$ *ф* $= 0,1$ сек. Самая же низкая из усиливаемых приемником звуковых частот будет не ниже 50 *гц*, т. е. ее период равен 0,02 сек. Таким образом, наш фильтр имеет достаточный запас — его постоянная времени в 5 раз больше периода самой низкой из усиливаемых частот и колебания со звуковой частотой через него проходить не будут, так как напряжение на $C_ф$ за это время не успеет измениться.

Выбирать произведение $R_ф C_ф$ чрезмерно большим также нельзя, так как тогда для изменения регулирующего напряжения потребовалось бы слишком длительное время, а это значит, что при быстрых колебаниях силы сигналов (например, при кратковременных замираниях) АРУ не успевала бы срабатывать.

Все эти соображения приходится учитывать при расчете элементов схемы. Значения $R_д$ и $C_д$ для нагрузки детектора нужно выбирать так, чтобы их постоянная времени была меньше самого короткого периода звуковой частоты, т. е. меньше 0,0001 сек., а выбор значений $R_ф$ и $C_ф$ для фильтра АРУ производить, наоборот, с таким расчетом, чтобы их постоянная времени была значительно больше самого длительного периода звуковой частоты.

Рассмотрим более детально, как будет вести себя приемник с такой простой системой АРУ. Без АРУ усиление

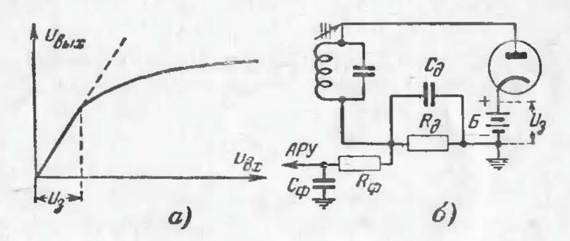
будет оставаться одинаковым независимо от силы сигнала на входе; следовательно, напряжение на выходе приемника при увеличении напряжения сигнала будет возрастать прямо пропорционально последнему, как это показывает характеристика *1* фиг. 55,*б*.

Если в приемнике имеется АРУ, то картина изменится: как только на входе приемника появится даже самый слабый сигнал, на нагрузке детектора сразу же возникнет выпрямленное напряжение. Через цепь АРУ это напряжение с отрицательным знаком попадает на сетку регулируемой лампы, в результате чего усиление уменьшается. Чем сильнее сигнал на входе, тем больше будет отрицательное смещение, создаваемое напряжением АРУ, а следовательно, и тем меньшее будет усиление. При таких условиях напряжение на выходе приемника уже увеличивается непропорционально входному напряжению и зависимость между входным и выходным напряжением выражается не прямой линией, а кривой (характеристика *2* на фиг. 55,*б*). Рассматривая эту кривую, мы замечаем, что в своей начальной части она идет более круто и лишь при больших напряжениях на входе заметно загибается. Такой ход этой кривой объясняется следующими причинами: при слабых сигналах на сетку регулируемой лампы поступает небольшое отрицательное напряжение АРУ и усиление уменьшается незначительно; работа лампы в этом случае происходит в области той части ее характеристики, которая имеет незначительную кривизну, характеристика почти линейна, крутизна ее меняется мало. Поэтому незначительное увеличение смещения вызывает лишь небольшое уменьшение усиления.

С увеличением отрицательного смещения, создаваемого АРУ, усиление падает более резко, рабочая точка на характеристике лампы переходит в ту область, где крутизна, а вместе с ней и усиление меняются более резко. Это соответствует более пологому ходу кривой *2* фиг. 55,*б*. Чем более полого пойдет дальше эта кривая, тем эффективнее оказывается действие АРУ. При идеальной АРУ кривая должна была бы итти параллельно горизонтальной оси; это означало бы, что, как бы ни увеличивался сигнал на входе, напряжение на выходе приемника будет оставаться неизменным. Однако такую идеально действующую АРУ невозможно создать; можно лишь стремиться к тому, чтобы наклон кривой, характеризующей действие АРУ, был как можно меньше. О том, как это достигается в современных приемниках, будет сказано ниже.

СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ С ЗАДЕРЖКОЙ

Вернемся снова к схеме и к кривым фиг. 55. Эта схема обладает весьма существенным недостатком, заключающимся в том, что усиление начинает уменьшаться одновременно с появлением на входе даже очень слабого сигнала. Такая работа АРУ невыгодна тем, что она вызывает уменьшение чувствительности приемника к слабым сигналам, которые вовсе не создают опасности перегрузки приемника, а потому и не требуют воздействия на усиление со стороны АРУ. Напротив, именно при приеме таких слабых сигналов чувствительность приемника должна быть наиболее высокой. Избавиться от этого недостатка можно, пользуясь схе-



Фиг. 56. Автоматическая регулировка усиления с задержкой.

мами с так называемым задержанным действием АРУ. Отличительная особенность таких схем заключается в том, что при слабых сигналах АРУ не действует (действие ее задерживается); начинает же она работать лишь при таких напряжениях на входе, которые соответствуют достаточно сильным сигналам.

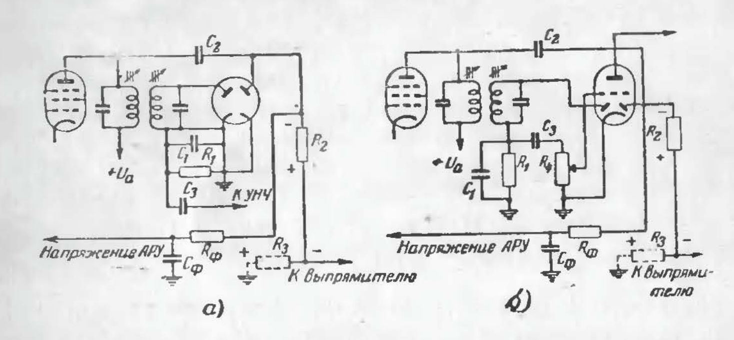
Степень задержки для каждого типа приемника можно подобрать наиболее выгодным образом. Обычно ее выбирают так, чтобы АРУ начинала действовать после того, как напряжение на нагрузке детектора превысит величину 1—2 *в*. Это значит, что приемник будет работать с полным усилением при приеме слабых сигналов, которые создают на детекторе напряжение меньше 1—2 *в*, и лишь при более сильных сигналах усиление будет уменьшаться.

Для подобных схем, работающих с задержкой, характеристика АРУ будет выглядеть так, как показано на фиг. 56,*а*.

Самая простая схема АРУ с задержкой приведена на фиг. 56,б. Здесь в цепь диода включена последовательно

батарея *Б*, создающая на аноде диода отрицательное напряжение $U_з$. Следовательно, диод будет заперт до тех пор, пока напряжение сигнала, подводимое к нему, не превысит напряжение задержки. Лишь при таких сигналах в цепи диода появится выпрямленный ток, а на нагрузке $R_д$ — выпрямленное напряжение. При дальнейшем увеличении напряжения сигнала напряжение на нагрузке диода будет расти и начнется действие автоматической регулировки усиления.

Но в такой схеме уже нельзя объединить в одном диоде функции детектора сигнала и детектора АРУ. Как мы видели, в схеме с задержкой детектор не должен работать



Фиг. 57. Схемы автоматической регулировки усиления с задержкой.

при малых напряжениях; между тем детектор сигналов должен работать все время, даже при самых слабых сигналах. Поэтому приходится вводить в схему приемника два диода: один для детектирования сигнала и получения нужного для работы приемника напряжения звуковой частоты и второй для получения напряжения АРУ.

Существует много схем АРУ с задержкой. Мы рассмотрим только наиболее характерные из них.

Схема, приведенная на фиг. 56,*б* в том виде, как она там изображена, для диодов АРУ практически не применяется, потому что нецелесообразно вводить в приемник специальную батарею для создания напряжения задержки. Это напряжение можно получить от общего источника питания. Особенно удобно это сделать при использовании ламп косвенного накала (с подогревным катодом).

На фиг. 57,*а* приведена схема детекторного каскада и АРУ на лампе 6Х6С (двойной диод). Левый по схеме диод является детектором сигнала, а правый служит для целей

АРУ. Напряжение промежуточной частоты на один диод подается со второго контура, а на другой диод — с первого контура того же трансформатора промежуточной частоты. Напряжение на правый диод подается через конденсатор C_2 и диод АРУ работает по схеме параллельного детектирования; его нагрузкой служит сопротивление R_2. Напряжение задержки подается на анод правого диода с сопротивления R_3 цепи выпрямителя.

Если в приемнике применяется лампа типа 6Г7 или 6Г2 (двойной диод-триод), то для задержанной АРУ можно воспользоваться схемой, приведенной на фиг. 57,*б*. Работа этой схемы не требует особых объяснений, так как она аналогична рассмотренной ранее схеме с двойным диодом.

Эффективность работы АРУ в значительной мере зависит от того, на какое число ламп подается регулирующее напряжение. Чем больше ламп, на сетки которых поступает напряжение АРУ, тем лучше работает система, тем ближе характеристика ее действия к идеальной. Из этих соображений напряжение АРУ подается обычно на все лампы, предшествующие детектору, — на лампу усилителя высокой частоты, смеситель и лампы усилителя промежуточной частоты.

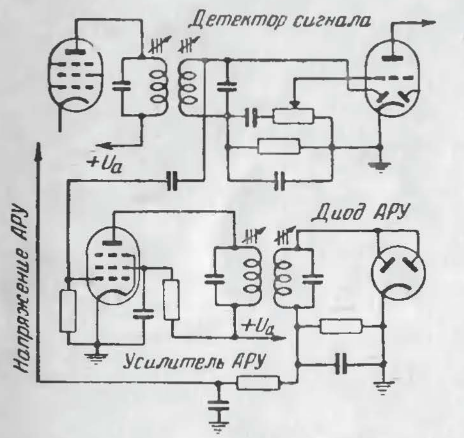
По ГОСТ действие АРУ характеризуется такими цифрами: у приемников 3-го класса выходное напряжение должно изменяться не более чем в 3 раза при изменении входного напряжения в 20 раз; у приемников 2-го класса — не более чем в 2,5 раза при таких же изменениях напряжения на входе и у приемников 1-го класса — не более чем в 4 раза при изменениях входного напряжения в 1 000 раз.

Более эффективная работа АРУ в приемниках высших классов достигается за счет того, что в них регулирующее напряжение подается на большее число ламп.

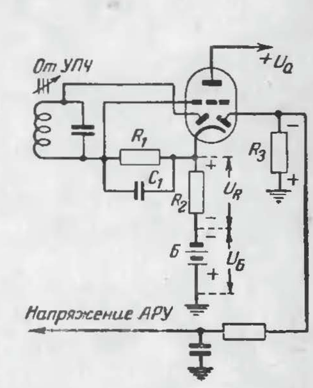
СХЕМЫ УСИЛЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

Дальнейшее повышение эффективности работы АРУ достигается за счет применения схем так называемой усиленной автоматической регулировки усиления. Применение таких схем имеет своей целью добиться такого положения, когда небольшие изменения входного напряжения сигнала сопровождаются большими изменениями напряжения смещения на сетках регулируемых ламп. Для этого прежде всего нужно располагать большим напряжением АРУ, достаточным для создания большого напряжения смещения, управляющего усилением первых ламп приемника. Напряжение АРУ в подобном случае должно достигать десятков вольт и значительно превосходить напряжения, развиваемые обычно на нагрузке детектора. Исходя из этого, в сложных многоламповых приемниках применяют дополнительные усилительные каскады, предназначаемые специально для целей АРУ.

Один из путей осуществления усиленной АРУ заключается в том, что перед детектором АРУ вводится специальный каскад усиления промежуточной частоты, как это показано на фиг. 58. В этом случае на нагрузке диода АРУ может быть получено выпрямленное напряжение, в несколько раз большее, чем напряжение звуковой частоты на нагрузке основного детектора.



Фиг. 58. Схема усиленной автоматической регулировки усиления (с усилением по промежуточной частоте).



Фиг. 59. Схема усиленной автоматической регулировки усиления (с усилением по постоянному току).

При другом способе осуществления усиленной АРУ дополнительный усилительный каскад включается не перед детектором АРУ, а после него. Такой каскад работает в качестве усилителя постоянного тока. Одна из схем этого рода приведена на фиг. 59. Работа этой схемы происходит следующим образом: усиленное в каскадах УПЧ напряжение промежуточной частоты подается на один из диодов (левый по схеме) дополнительной лампы 6Г7. Выпрямленное напряжение с нагрузки R_1 этого диода подается на

сетку триодной части лампы. Нагрузка триода — сопротивление R_2 — включена в цепь катода. При отсутствии сигнала напряжение на левый диод не поступает и поэтому на нагрузке R_1 также нет выпрямленного напряжения. Через лампу проходит в это время только ток покоя, создающий некоторое падение напряжения на нагрузке R_2.

Второй, правый по схеме, диод включен таким образом, что в его цепи действуют напряжение, выделяющееся на сопротивлении R_2, и напряжение батареи $U_б$. Эти два напряжения включены навстречу друг другу и взаимно вычитаются, причем напряжение $U_б$ выбирается немного меньше напряжения U_R, выделяющегося на сопротивлении R_2 под действием тока покоя. При таких условиях при отсутствии сигнала на входе преобладает напряжение U_R и поэтому правый анод оказывается под некоторым отрицательным потенциалом. Через запертый таким образом диод ток не идет, и поэтому на нагрузке R_3 этого диода напряжения нет. Следовательно, и на сетки регулируемых ламп не подается смещение.

При появлении сигнала возникает на R_1 напряжение, уменьшающее анодный ток триода; при этом уменьшается падение напряжения на R_2 и после известного предела начинает преобладать напряжение $U_б$. Вследствие этого отпирается правый диод и на его нагрузке R_3 появляется выпрямленное напряжение, поступающее с отрицательным знаком на сетки регулируемых ламп. Происходящее под действием сигнала небольшое увеличение выпрямленного напряжения на сопротивлении R_1 усиливается в триодной части лампы и создает во много раз большее изменение напряжения на нагрузке R_2. Таким образом, смещение на сетках регулируемых ламп изменяется весьма значительно при небольшом изменении напряжения на детекторе, а это значит, что АРУ работает гораздо более эффективно, чем в обычных схемах, без усиления.

На практике вместо отдельной батареи $U_б$ используется падение напряжения на сопротивлении, включенном в общую «минусовую» цепь выпрямителя. По такой схеме выполнена, в частности, система АРУ приемника 1-го класса «Беларусь».

Более простыми в налаживании оказываются схемы первого рода с добавочным усилением в канале АРУ, до детектора, т. е. с добавочным каскадом усиления по промежуточной частоте.

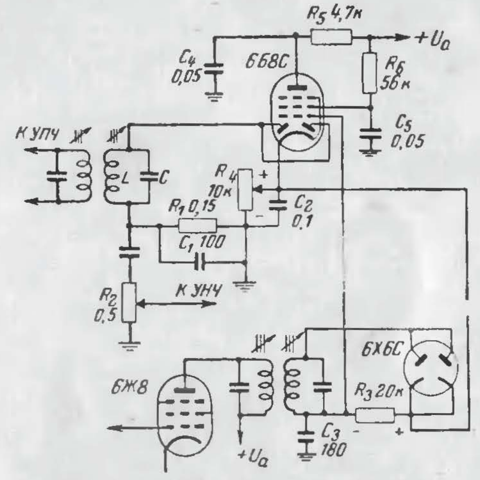
СХЕМЫ БЕСШУМНОЙ НАСТРОЙКИ

Дальнейшим усовершенствованием схемы супергетеродина является применение специального устройства, называемого бесшумной настройкой. Это устройство позволяет избегать появления неприятных сильных шумов, возникающих в чувствительном приемнике при перестройке его с одной станции на другую. Действие схем бесшумной настройки основано на том, что при отсутствии сигнала на входе или при незначительном уровне этого сигнала низкочастотный тракт приемника оказывается запертым и поэтому громкоговоритель не воспроизводит никаких звуков. Но как только сигнал на входе достигает требуемой величины, усилитель низкой частоты отпирается и начинает работать нормально. Но в этих условиях уровень сигнала уже в достаточной мере превосходит уровень шумов, и поэтому влияние последних на воспроизводимую передачу остается практически незаметным. Таким образом, во время перестройки приемника в громкоговорителе не обнаруживается даже признаков шумов и тресков, поскольку усилитель низкой частоты приемника остается запертым. При наличии сильных помех порог срабатывания системы бесшумной настройки может быть отрегулирован так, чтобы отпирание усилителя низкой частоты происходило лишь при достаточно высоком уровне сигналов на входе, заметно превышающем уровень помех и шумов.

В других вариантах схем такого рода бесшумная настройка осуществляется путем запирания не усилителя низкой частоты, а детектора, который начинает работать только при сильных сигналах. Такая схема бесшумной настройки применена, в частности, в приемнике 1-го класса («Ленинград-50» *); она приведена на фиг. 60. В этом приемнике имеется отдельный канал усиления промежуточной частоты для усиленной АРУ, который на фиг. 60 не показан. Роль детектора сигнала выполняют соединенные параллельно диоды лампы 6Б8С, на которые подается напряжение промежуточной частоты с контура LC. Выпрямленное напряжение звуковой частоты с сопротивления R_1 нагрузки диодов подается на регулятор громкости R_2 и далее на сетку первой лампы усилителя низкой частоты. Бесшумная настройка осуществляется путем подачи на детекторный диод отрицательного запирающего напряжения при отсутствии достаточно сильного сигнала на входе.

* См. журнал „Радио“, 1951, № 2.

Канал бесшумной настройки состоит из каскада усиления промежуточной частоты на лампе 6Ж8. С этого каскада напряжение поступает на двойной диод 6Х6С, аноды которого соединены параллельно. Выпрямленное этой лампой напряжение с ее нагрузки подается с отрицательным знаком на сетку пентодной части лампы 6Б8С. Эта часть лампы работает в режиме усилителя постоянного тока. На включенном в цепь катода лампы 6Б8С переменном сопротивлении R_4 выделяется напряжение, используемое в качестве напряжения задержки для детекторного диода. При



Фиг. 60. Схема бесшумной настройки с запиранием детекторного диода.

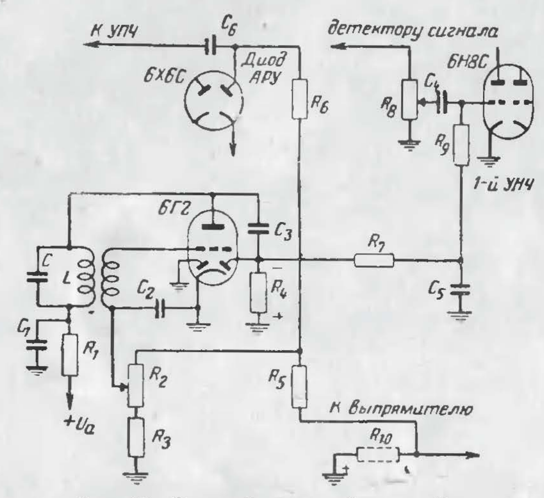
отсутствии сигнала на аноды лампы 6Х6С напряжение не поступает и поэтому на сетке лампы 6Б8С напряжение равно нулю. Вследствие этого анодный ток этой лампы, а вместе с этим и падение напряжения на R_4 достигают больших значений и поэтому диод лампы оказывается запертым. При появлении сигнала на входе приемника на сетку лампы 6Б8С поступает отрицательное смещение и поэтому анодный ток ее уменьшается. Вместе с этим уменьшается и падение напряжения на сопротивлении R_4, в результате чего детекторный диод отпирается и на выходе приемника появляется напряжение звуковой частоты.

Порог запирания регулируется изменением величины сопротивления R_4. Для этого ось сопротивления выводится обычно на заднюю стенку шасси приемника. Действие всей системы может быть отрегулировано таким образом, что

детекторный диод будет отпираться лишь при наличии на входе приемника сигнала определенной силы, т. е. при настройке на достаточно хорошо слышимую станцию. При меньших уровнях сигнала на входе детектор, а вместе с ним и приемник будут оставаться запертыми.

На схеме указаны величины тех сопротивлений и емкостей, которые имеют значение для работы бесшумной настройки.

Другое решение задачи бесшумной настройки дает схема, приведенная на фиг. 61. Такая схема применена в при-



Фиг. 61. Схема бесшумной настройки с запиранием усилителя низкой частоты.

емнике 1-го класса «Мир». В этой схеме при перестройке приемника запирается первая лампа усилителя низкой частоты. Источником запирающего напряжения служит лампа 6Г2. Триодная часть ее работает в качестве генератора с самовозбуждением, генерирующего колебания, обладающие частотой 2 *мггц*. Переменное напряжение, создаваемое этими колебаниями на контуре *LC*, выпрямляется правым диодом этой же лампы и с его нагрузки R_4 подается с отрицательным знаком на сетку первой лампы (один из триодов 6Н8С) усилителя низкой частоты. Напряжение это настолько велико, что оно полностью запирает лампу 6Н8С.

Такую картину мы имеем до тех пор, пока на входе сигнала нет или он очень мал. Когда же напряжение сигнала (а вместе с ним и напряжение промежуточной час-

тоты) достигнет некоторой, заранее заданной величины, в нагрузке R_5 детектора АРУ выделится достаточное выпрямленное напряжение и на сетку генераторной лампы 6Г2 поступит отрицательное смещение, которое запрет эту лампу и сорвет генерацию. Одновременно исчезнет отрицательное смещение, запиравшее лампу усилителя низкой частоты, и приемник начнет работать нормально.

Порог срабатывания схемы можно регулировать, изменяя с помощью переменного сопротивления R_2 величину той части отрицательного напряжения, создаваемого детектором АРУ, которая подается на сетку генераторной лампы. Если введено все сопротивление R_2 (движок передвинут кверху), то порог срабатывания будет наименьший, генерация сорвется уже при слабом сигнале. При переводе движка вниз порог срабатывания повышается — схема будет отпираться только при сильных сигналах на входе приемника. Положение движка подбирается таким образом, чтобы отпирание усилителя низкой частоты происходило при наличии на входе приемника сигнала нужной силы.

На практике схемы бесшумной настройки оказываются эффективными только при приеме достаточно мощных станций, когда порог срабатывания установлен так, что усилитель низкой частоты отпирается при достаточно сильных сигналах; тогда шумы почти не прослушиваются. Правда, это приводит к тому, что прием слабых станций оказывается невозможным — они дают сигналы, лежащие ниже порога срабатывания системы бесшумной настройки.

Следует отметить, что основное требование к схемам, подобным описанной выше, сводится к тому, чтобы срабатывание источника запирающего напряжения происходило как можно более резко, т. е. чтобы лампа усилителя низкой частоты отпиралась и ее нормальный режим устанавливался мгновенно, как только сигнал достигнет нужного значения.

Глава шестая

ПОЛНАЯ СХЕМА СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

Кроме рассмотренных основных элементов высокочастотной части схемы, супергетеродинные приемники всех классов содержат и низкочастотную часть, а приемники 2-го и 1-го классов еще и устройство, указывающее момент точной настройки на принимаемую станцию.

Остановимся коротко на этих звеньях приемника.

УСИЛЕНИЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Выделенное детектором напряжение звуковой частоты поступает для дальнейшего усиления на сетку первой лампы усилителя низкой частоты. Основные способы связи усилителя низкой частоты с детектором были приведены на фиг. 51.

Обычно в радиовещательных приемниках 2-го и 3-го классов усилитель низкой частоты состоит из двух каскадов, в которых поступающее из детекторного каскада напряжение низкой частоты усиливается до уровня, необходимого для получения на выходе приемника нормальной для него мощности. Первый каскад усилителя НЧ служит усилителем напряжения, задачей же второго, оконечного, каскада является создание на выходе требуемой мощности. Поэтому оконечный каскад часто называют усилителем мощности, хотя это название и не совсем правильно.

Если приемник имеет гнезда для звукоснимателя, то величину общего усиления по низкой частоте выбирают с таким расчетом, чтобы напряжения звукоснимателя было достаточно для получения полной выходной мощности. Детектор же обычно дает напряжение большее, чем звукосниматель.

Режим работы ламп в усилителе низкой частоты выбирается так, чтобы обеспечить в первую очередь получение неискаженного усиления, т. е. сведение к минимуму как нелинейных, так и частотных искажений. Это является основным требованием, предъявляемым к усилителю низкой частоты.

В целях повышения качества усиления по низкой частоте в схему усилителя нередко вводятся дополнительные элементы, позволяющие компенсировать возникающие в нем искажения или регулировать характер звучания по желанию слушателя.

В предварительном усилителе, или усилителе напряжения, применяется обычно простая схема усиления на сопротивлениях. В качестве усилительной лампы чаще всего используется либо триодная часть ламп 6Г7 или 6Г2, либо лампы 6Ж7 или 6Ж8.

В оконечном каскаде используются обычно лампы типа 6Ф6С, 6П6С или 6П3С. Для повышения выходной мощности оконечный каскад собирают по двухтактной схеме, которая наряду с увеличением мощности позволяет снизить нелинейные искажения. Двухтактные схемы применяются в тех случаях, когда на выходе приемника нужно получить мощность, превышающую 3 *вт*.

Широкое распространение получили в хороших супергетеродинных приемниках схемы усилителей НЧ с применением отрицательной обратной связи. Отрицательная обратная связь, детально исследованная в работах советских ученых, в частности Г. С. Цыкина, открыла новые возможности в области улучшения качества воспроизведения звука радиоприемником.

Отрицательная обратная связь позволяет уменьшить как нелинейные, так и частотные искажения, возникающие в усилителе низкой частоты. Кроме того, с помощью отрицательной обратной связи можно в широких пределах изменять форму частотной характеристики усилителя низкой частоты, регулируя тем самым по желанию тембр передачи. Это позволяет компенсировать частотные искажения, возникающие в разных элементах схемы приемника и в некоторой мере недостатки громкоговорителя. Звучание становится более естественным.

В настоящее время отрицательная обратная связь применяется в приемниках всех классов. Особое развитие получают схемы отрицательной обратной связи в приемниках 1-го класса, где с помощью обратной связи осуществляется регулировка частотной характеристики в очень широких пределах в области как высших, так и низших звуковых частот.

Мы ограничиваемся здесь лишь этими краткими упоминаниями основных особенностей схем усилителей низкой частоты — этой завершающей части всякого радиоприемника, так как подробному рассмотрению вопросов усиления низкой частоты посвящены специальные выпуски массовой библиотеки.

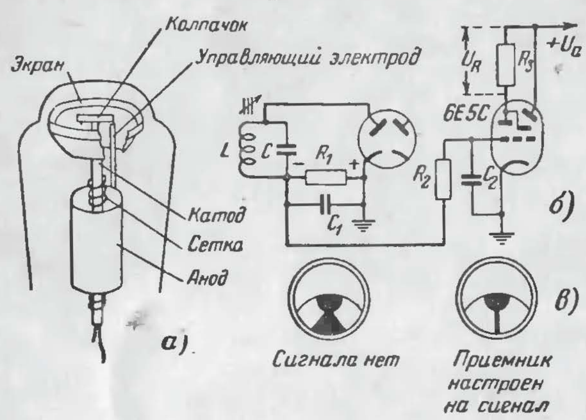
Полностью используя все преимущества супергетеродинного метода в отношении осуществления высокой чувствительности и избирательности приемника, и применяя в нем усовершенствованные схемы усиления низкой частоты, радиолюбитель может создать конструкцию, отвечающую высоким требованиям современной техники.

ИНДИКАЦИЯ ТОЧНОЙ НАСТРОЙКИ

Как уже отмечалось ранее, при неточной настройке приемника на частоту принимаемой станции возможно появление искажений. Однако не всегда можно достаточно точно определить момент точной настройки по максимальной громкости на выходе. Значительно точнее это можно сделать с помощью специального оптического индикатора на-

стройки, в качестве которого широко используется лампа типа 6Е5С. Принцип работы этого индикатора, относящегося к типу электронно-лучевых ламп, описывается ниже.

На фиг. 62 приведено схематическое изображение конструкции индикатора 6Е5С. Он представляет собой трехэлектродную лампу с подогревным катодом, заключенную в стеклянный баллон. В верхней части баллона находится



Фиг. 62. Оптический индикатор настройки.
а — устройство индикатора; *б* — схема включения индикатора; *в* — экран индикатора при отсутствии и при наличии сигнала.

конусообразный круглый экран, через центр которого проходит продолжение катода лампы. На экран подается положительное напряжение 250 *в*, которое заставляет устремляться к нему электроны, излучаемые катодом. Экран покрыт особым составом, обладающим способностью светиться зеленым светом под действием электронной бомбардировки.

На своем пути от катода к экрану электроны встречают управляющий электрод, который имеет форму узкой пластинки, соединенной с анодом триодной части; потенциал этого управляющего электрода равен, следовательно, потенциалу анода триода.

Схема использования индикатора настройки 6Е5С приведена на фиг. 62,*б*. Выпрямленное напряжение с нагрузки детектора R_1 через фильтр R_2C_2, задерживающий переменную слагающую, подается с отрицательным знаком на сетку триодной части индикатора. При отсутствии сигнала напряжение на нагрузке детектора, а вместе с ним и смещение

на сетке триода, равны нулю. Анодный ток триода при этом велик и за счет этого на сопротивлении R_3 происходит большое падение напряжения U_R. Потенциал анода триодной части и одновременно с этим и потенциал управляющего электрода $U_{упр} = U_a - U_R$ будет значительно ниже, чем потенциал экрана U_a. Электрическое поле, создаваемое при таких условиях между экраном и катодом, имеет такой характер, что управляющий электрод создает как бы электрическую тень, не пропускает часть электронов к экрану. Эта часть экрана остается темной.

При появлении сигнала на сетку триодной части поступает отрицательное смещение — анодный ток уменьшается, уменьшается и падение напряжения на R_3. Вследствие этого потенциал анода и управляющего электрода приближается к потенциалу экрана. «Затеняющее» действие управляющего электрода становится слабее, и поэтому теневой сектор на экране сужается. При точной настройке на принимаемый сигнал напряжение на нагрузке детектора достигает максимума и теневой сектор на экране индикатора превращается в узкую полосу и даже в линию. По минимальной ширине этой теневой полоски и определяется момент наступления точной настройки приемника на станцию.

Неудобства возникают при приеме очень сильных сигналов, например сигналов местных станций. Слишком большое напряжение смещения может привести к тому, что анодный ток триода упадет до нуля; тогда теневой сектор совершенно исчезнет и, даже более того, края светящейся поверхности экрана зайдут друг на друга. При таких условиях уже невозможно определить момент наступления точной настройки.

Светящийся экран, в центре которого находится колпачок, закрывающий катод, несколько напоминает глаз со зрачком. Поэтому индикаторы такого типа называют иногда «магическим глазом». На фиг. 62,*в* (слева) показан вид экрана индикатора при отсутствии сигнала и (справа) при точной настройке на станцию. На этой фигуре часть экрана закрыта сверху обрамлением, усиливающим сходство экрана с глазом.

ТИПОВАЯ СХЕМА ПРИЕМНИКА

Мы здесь ознакомились со всеми основными элементами схемы супергетеродинного приемника. Чтобы полнее представить себе взаимосвязь между ними, рассмотрим схему одного из типовых радиовещательных супергетеродинных приемников 2-го класса «Балтика». На фиг. 63 приведена схема этого приемника выпуска 1952 г.

В приемнике имеются следующие каскады:

1. Преобразователь частоты на лампе 6А7.
2. Усилитель промежуточной частоты на лампе 6К3.
3. Детектор сигнала и детектор автоматической регулировки усиления на лампе 6Х6С.
4. Предварительный усилитель низкой частоты на лампе 6Ж8.
5. Оконечный усилитель на лампе 6П3С.
6. Оптический индикатор настройки на лампе 6Е5С.
7. Выпрямитель на лампе 5Ц4С.

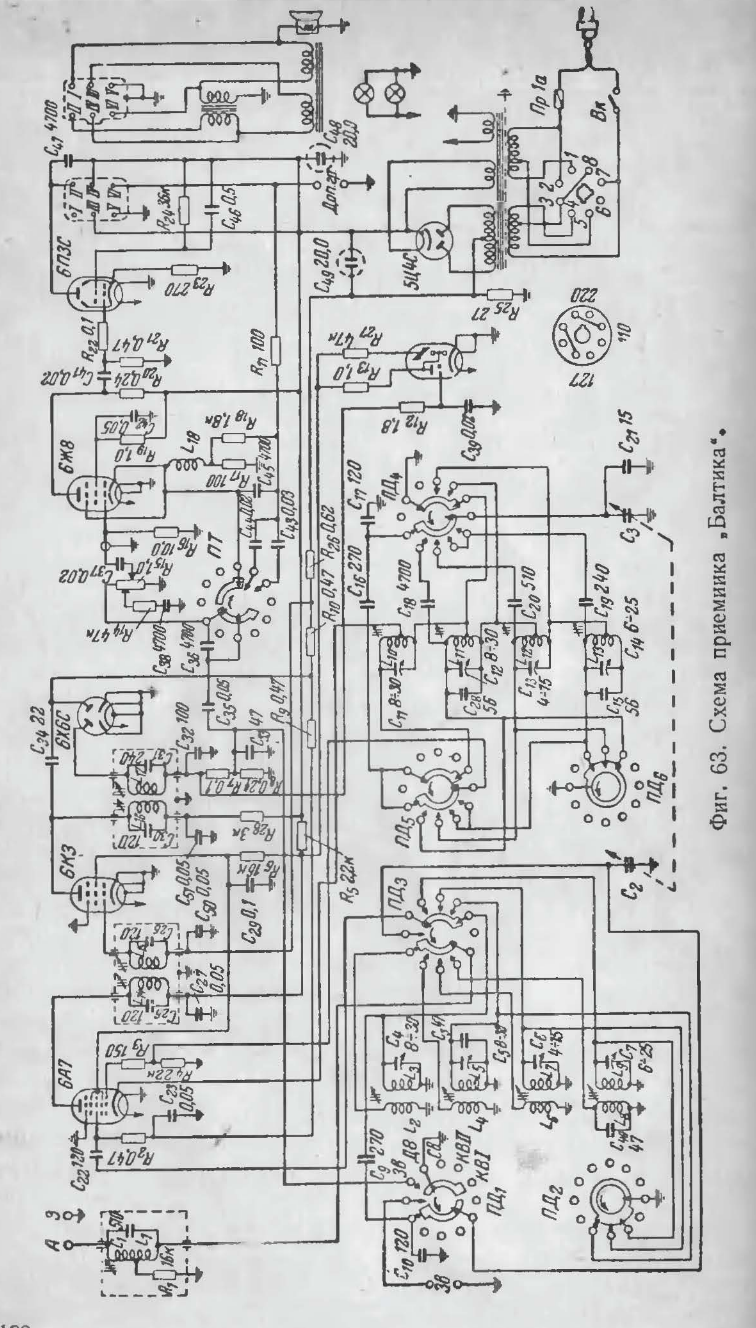
Рассмотрение схемы приемника начнем с его входа.

Входная часть. Входную часть приемника образует контур, настраиваемый при помощи одной секции конденсатора переменной емкости и связанный индуктивно с антенной. Катушки для каждого поддиапазона отдельные.

Всего в приемнике четыре поддиапазона: длинные волны, средние волны, короткие волны от 32 до 76 *м* (9,2—3,95 *мггц*) и короткие волны от 24,9 до 33,3 *м* (12,1 — 9,0 *мггц*).

Коммутация катушек осуществляется секциями $ПД_1$ $ПД_2$ и $ПД_3$ переключателя диапазонов; при работе каждого из диапазонов все неработающие контурные катушки диапазонов более длинных волн замыкаются накоротко в секции $ПД_2$. Так, на первом коротковолновом диапазоне (9—12,1 *мггц*) работают катушки L_2 и L_3, все остальные замкнуты накоротко. На втором коротковолновом диапазоне работают катушки L_4 и L_5, а замкнуты накоротко катушки L_7 и L_9. На средних волнах работают катушки L_6 и L_7, замкнута катушка L_9. И, наконец, на длинных волнах работают катушки L_8 и L_9. Такая система устраняет опасность «отсасывания» неработающими контурами энергии на их собственных частотах и, как следствие этого, появления провалов чувствительности на этих частотах.

Конденсатор настройки C_2 подключается параллельно соответствующей катушке с помощью секции $ПД_1$ на первом коротковолновом диапазоне и с помощью секции $ПД_3$ — на остальных диапазонах. Для уменьшения перекрытия по частоте на первом диапазоне последовательно с конденсатором настройки включается укорачивающий конденсатор C_9, а параллельно C_2 — конденсатор C_{10}. На диапазоне длинных волн параллельно катушке связи присоеди-



Фиг. 63. Схема приемника „Балтика“.

нена емкость C_{40} для понижения собственной частоты антенной цепи (см. стр. 34).

Последовательно в антенну включен контур L_1C_1, настроенный на промежуточную частоту 465 *кгц* и образующий для нее запирающий фильтр-пробку. Схема включения этого фильтра напоминает схему, приведенную на фиг. 41,*б*, с той разницей, что здесь сопротивление присоединено к средней точке не в емкостном, а в индуктивном плече.

Преобразователь частоты. В качестве преобразователя частоты работает гептод 6А7, на третью (сигнальную) сетку которого подается сигнал с входного контура, а первая (гетеродинная) и вторая (экранирующая) сетки используются вместе с колебательным контуром для создания собственных колебаний. Гетеродин работает по трехточечной схеме с индуктивной связью и с заземленным анодом. Роль анода выполняет экранирующая сетка, заземленная для токов высокой частоты через емкость C_{29}.

Переключение контуров на разных диапазонах осуществляется секциями $ПД_4$, $ПД_5$ и $ПД_6$ того же переключателя диапазонов, причем в секции $ПД_6$ производится замыкание неработающих катушек по тому же принципу, как было описано выше. На первом коротковолновом диапазоне (катушка L_{10}) последовательно и параллельно с конденсатором C_3 настройки гетеродина соединяются соответственно конденсаторы C_{16} и C_{17} для сокращения перекрытия. Конденсатор C_{21} остается подключенным параллельно C_3 на всех диапазонах; он составляет часть параллельной емкости, необходимой для сопряжения настройки контуров. Этот конденсатор керамический (тикондовый); он обладает в то же время свойством компенсировать уход частоты гетеродина при разогреве и служит, таким образом, для повышения стабильности частоты гетеродина.

На втором коротковолновом диапазоне (катушка L_{11}) последовательным сопрягающим конденсатором является C_{18}, а параллельным — C_{28}. На средних волнах (катушка L_{12}) включается сопрягающий конденсатор C_{20} и на длинных волнах — конденсатор C_{19}; параллельным в этом случае является C_{15}. Катод лампы 6А7 не переключается к разным катушкам; при переходе к диапазонам более длинных волн он оказывается соединенным со средней точкой работающей катушки через часть витков катушек предшествующих диапазонов.

Гетеродинная сетка лампы соединяется с контуром через емкость C_{24}; утечкой сетки служит сопротивление R_4.

Небольшое сопротивление R_3 включено в цепь сетки последовательно для повышения устойчивости работы гетеродина.

В анодную цепь лампы 6А7 включен контур $L_{14}C_{25}$. На этом контуре выделяется напряжение промежуточной частоты, полученное в результате преобразования частоты сигнала в первом каскаде приемника.

Усилитель промежуточной частоты. В усилителе промежуточной частоты используется высокочастотный пентод типа 6К3, работающий по обычной схеме, с двумя двухконтурными фильтрами на входе и на выходе. В первый фильтр входят контуры $L_{14}C_{25}$ и $L_{15}C_{26}$ и во второй — контуры $L_{16}C_{30}$ и $L_{17}C_{31}$. Катушки всех контуров настраиваются с помощью сердечников из карбонильного железа.

Детектор сигнала и автоматическая регулировка усиления. Усиленное напряжение промежуточной частоты со второго контура второго фильтра подается на один из диодов (левый по схеме) лампы 6Х6С, выполняющий роль детектора сигнала. Нагрузкой детектора являются сопротивления R_7 и R_8, соединенные последовательно и шунтированные для токов высокой частоты конденсатором C_{32}. Сопротивление R_7 и конденсатор C_{33} служат фильтром высокой частоты (см. стр. 84 и фиг. 52). Выпрямленное напряжение звуковой частоты через переходную емкость C_{35} подается на регулятор громкости R_{15}.

Второй (правый по схеме) диод лампы 6Х6С используется для автоматической регулировки усиления. Напряжение промежуточной частоты подается на этот диод с первого контура $L_{16}C_{30}$ того же фильтра промежуточной частоты через емкость C_{34}. Нагрузкой этого диода, на которой создается выпрямленное напряжение, служат сопротивления R_{10} и R_{26}, соединенные последовательно. Напряжение задержки подается на анод диода с сопротивления R_{25} в выпрямителе. Усиление первых двух ламп регулируется различно: на приемную сетку лампы 6А7 через фильтр R_9C_{23} подается полностью напряжение, которое получается на всей нагрузке $R_{10}R_{26}$. На сетку же лампы 6К3 подается лишь часть этого напряжения, снимаемая с сопротивления R_{26}.

Предварительный усилитель низкой частоты. В первом каскаде усиления низкой частоты используется пентод 6Ж8, работающий в схеме усиления на сопротивлениях. Напряжение на сетку этой лампы подается с движка регулятора громкости R_{15} через переходной конденсатор C_{37}. Регулятор громкости имеет отвод от части сопротивления, в который включена цепочка из R_{14} и C_{38}, предназначенная для так называемой тонкомпенсированной регулировки громкости. Сущность такой регулировки заключается в том, что она учитывает физиологические особенности человеческого слуха, который хуже воспринимает низкие частоты при малой громкости. Поэтому, если уменьшать напряжение на входе усилителя равномерно на всех частотах, то слушателю будет казаться, что громкость на низших частотах уменьшилась больше, чем на остальных. При наличии вспомогательной цепочки $R_{14}C_{38}$ этот недостаток компенсируется.

Усиленное напряжение с анодной нагрузки лампы 6Ж8 через конденсатор C_{41} подается на сетку оконечной лампы.

Оконечный усилитель. В оконечном усилителе работает лучевой тетрод 6П3С, в анодную цепь которого через выходной трансформатор включен громкоговоритель.

Со вторичной обмотки выходного трансформатора в цепь катода предыдущей лампы вводится напряжение отрицательной обратной связи по двум путям: через сопротивления R_{11} и R_{18} на сопротивление R_{17} и через конденсатор C_{45} на дроссель L_{18}. Эта цепь обратной связи частотно зависима, т. е. ведет себя различно по отношению к разным частотам звукового спектра. Регулятор тембра (переключатель *ПТ*), включая параллельно C_{45} конденсаторы C_{43} и C_{44}, позволяет менять характер этой зависимости и тем самым изменять по желанию тембр воспроизведения передачи, ослабляя в большей или меньшей степени высшие звуковые частоты. При включении конденсатора C_{36} ослабляются низшие частоты.

Оптический индикатор настройки. На сетку лампы 6Е5С, выполняющей роль индикатора настройки, управляющее напряжение подается с нагрузки детектора сигнала через фильтр $R_{12}C_{39}$. От приведенной ранее данная схема индикатора отличается тем, что в цепь экрана введено сопротивление R_{27} для некоторого понижения напряжения на этом электроде.

Выпрямитель. Выпрямление переменного тока производится с помощью кенотрона 5Ц4С по обычной двухполупериодной схеме. В качестве индуктивности фильтра выпрямителя используется катушка подмагничивания громкоговорителя. Первичная обмотка силового трансформатора переключается на разные напряжения сети посредством восьмиштырьковой колодки, переставляемой в разные положения.

Таким образом, мы рассмотрели все основные элементы схемы приемника «Балтика». Мы не упоминали о некоторых сопротивлениях и конденсаторах, включенных в анодные и экранные цепи ламп и имеющих чисто вспомогательное назначение, — это так называемые развязывающие фильтры, которые предназначены для лучшей фильтрации общих цепей питания от токов высокой частоты во избежание опасности самовозбуждения приемника. Такими развязывающими фильтрами являются цепи R_5C_{27}, $R_{28}C_{51}$.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 2 р. 60 к.